

理查德·L·米汉 (RICHARD L. MEEHAN)

咨询工程师·50年从业经验·大坝安全·工程地震学·热带岩土工程

邮箱地址: meehan@stanford.edu

本报告首发于2021年5月26日。经作者同意,于2022年7月进行了修订,以使意思更清晰。

对中色(印尼)达瑞矿业有限公司(Dairi Prima Minerals,以下简称“达瑞矿业”)2021年4月《环境影响评价补遗书》之分析:矿址风险及尾矿处置安全问题

基于之前对位于印度尼西亚苏门答腊岛(已开始动工的)达瑞铅锌矿项目拟建尾矿库之计划及其环境影响评价文件的分析,我就该尾矿库的安全问题撰写了报告¹。报告强调了该设施将面临的一些风险,特别是拟建尾矿库场地的地基很可能不稳定,加上项目所在区域极高的地震风险和高降雨量,风险可能更高。

随后,我又对达瑞矿业于2021年新修订的《项目环境影响评价变更报告(A类²)》³进行了分析,现陈述我的分析结果。本报告为分析概要,另有视频版本⁴作为补充。

根据2021年的新环境影响评价变更报告(以下简称“环评变更报告”)达瑞矿业似乎申请建设的是120万吨的尾矿库。但根据我对2005-2019年的多项规划文件的了解,达瑞计划持续扩大矿山规模,因此尾矿库最终规模将达到320万吨。我在下文图1中使用的数据以扩建后的总规模为基础。但即使尾矿库规模最终限制在120万吨,其对当地社区的危害风险仍然存在。

¹ Meehan, RL, April 2020a DPM Mine Site Risks and tailings disposal safety.

<https://www.inclusivedevelopment.net/wp-content/uploads/2020/07/DPM-Mine-site-risks-and-Tailings-disposal-safety-April-2020-English.pdf>

Meehan, RL, December 2020b. Dairi Prima Minerals (DPM) Mine site risks and Tailings disposal safety. Review of Dairi 2019 EIA Addendum.

<https://drive.google.com/file/d/1OiDnNcnpVIEMqKnSfxX2br0KQRe4b8wX/view>

²根据印尼的环境评价程序,环境影响评价报告通过后,可提交两类变更申请:主要变更(A类)以及次要变更(B类);

³中色(印尼)达瑞矿业有限公司,《北苏门答腊省达瑞县 Silima Pungga-Pungga 区铅锌矿开采项目环境影响评价补遗书及环境管理计划和环境监测计划(A类)(2021 Adendum ANDAL, RKL dan RPL Tipe A Kegiatan Pertambangan Seng dan Timbal di Kecamatan Silima Pungga-Pungga Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara)》,2021年4月。

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=Z1hGgyN5gh4>

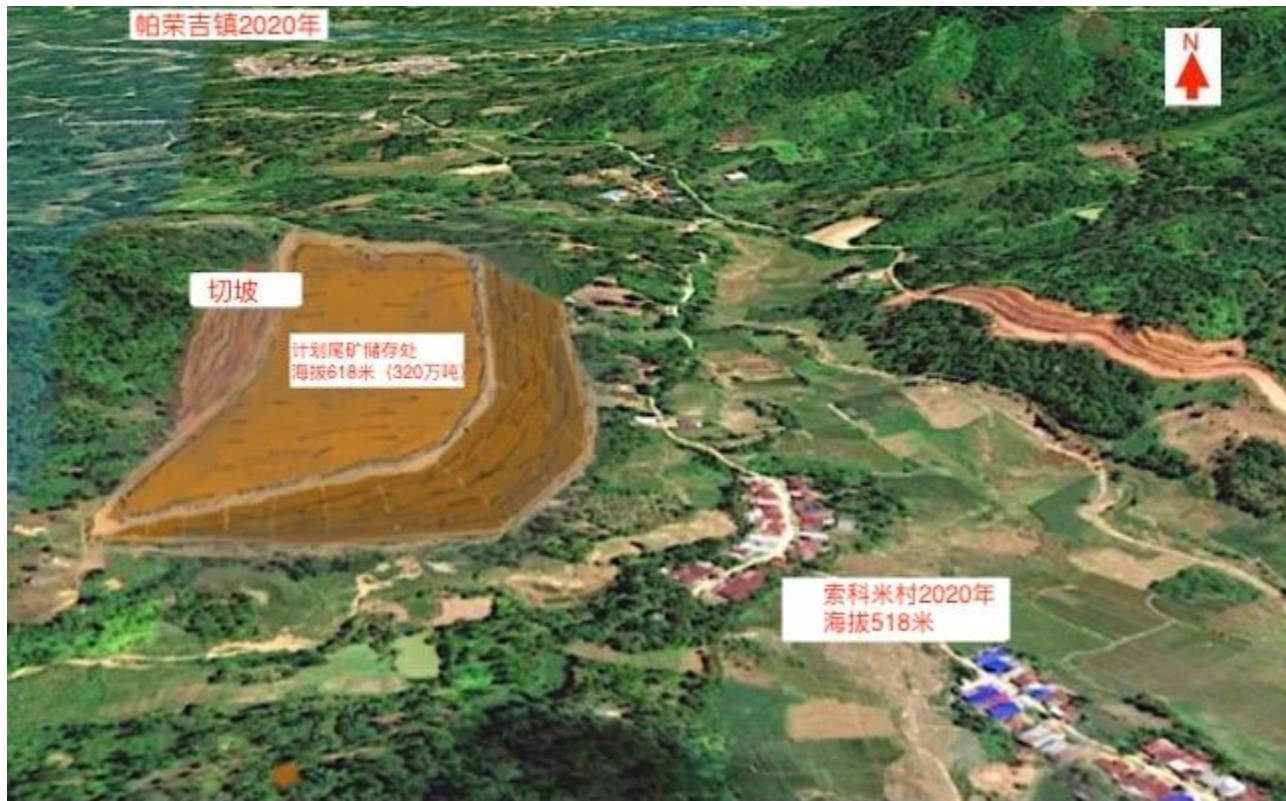


图1. 尾矿库规划布局，320万吨，海拔618米。该图由笔者将达瑞矿业环评变更报告中图2.22的尾矿库图像（棕色）放置在Google地球图像上绘制而成。位于索科米村上游的尾矿坝很可能在强烈地震中崩溃，因为该村与尾矿库下方土地、二者之间的土地、以及尾矿坝下方地基均为不稳定的火山灰土，易发生土壤液化和滑坡。

过往报告要点回顾

我的第一份报告⁵讨论了该地区的高地震、降雨灾害风险，并分析了在索科米（Sopokomil）山谷低处建立尾矿处置设施的可能性。在撰写第一份报告时，关于该尾矿库的书面信息只有达瑞铅锌矿项目的早期文件（Middleton，2003）、描述该项目

⁵ Meehan, RL, April 2020a DPM Mine Site Risks and tailings disposal safety. <https://www.inclusivedevelopment.net/wp-content/uploads/2020/07/DPM-Mine-site-risks-and-Tailings-disposal-safety-April-2020-English.pdf>

预期规模和施工时间的各种新闻，以及一些初步实地调查报告；其中一份关于修路的调查报告提到索科米山谷低处有可能修建尾矿库。

2019年10月，达瑞矿业曾提交项目环评变更报告（A类）（下称“2019年环评变更报告”），其中提出拟建尾矿库的具体地点，声称库址是根据其国际顾问对多个可能地点所进行的研究选定的。该地点位于山谷低处的索科米村旁边。我于2020年12月对此环评变更报告作出分析，并在报告中提供证据指出，该地点很可能与达瑞矿业的国际专家的研究结果和建议不一致，而且相关国际专家的研究报告至今也没有公开发布（当地民间组织“北苏门答腊民众法律援助与倡导协会（BAKUMSU）”曾两次要求环境与林业部公布相关报告）。我认为拟建地点下方可能是不稳定的火山灰沉积物（多巴凝灰岩），而非达瑞矿业在2019年环评变更报告中说的稳定基岩。如果该地分布多巴凝灰岩（Toba Tuff），那表明此处地质结构不稳定，尾矿坝溃坝或出现事故的风险很高，对其下游社区来说是极大的威胁。

2021年4月，达瑞矿业对其2019年环评变更报告进行修订，并提交了新版环评变更报告，我将其称为“2021年环评变更报告”，也就是本文的主要分析对象。根据该环评变更报告，达瑞矿业仍申请在同一地点修建尾矿库，但新补遗书添加了大量有关该地点的信息。然而，该补遗书既不包括我通过北苏门答腊民众法律援助与倡导协会要求达瑞矿业提供的背景材料，也略过了一些新掌握的信息，例如在拟建地点进行的一系列勘探钻孔活动的材料。（参见本文附录B）

这份最新的2021年环评变更报告长达800页，除了印尼语原文外尚无官方译本。我使用电脑软件对2021年补遗书中关于尾矿库的新内容进行了翻译，并暂且以此进行分析。

2021年环评变更报告显示，自2019年以来该项目又做了进一步的背景研究。但相关研究数据和报告并未包含在环评变更报告中，也未由达瑞矿业以其他方式发布。尽管公司披露的相关基础信息很少，但2021年环评变更报告中提供的概括性数据足以让我对达瑞矿业于2021年4月提交的尾矿库建设修订计划的安全性问题作进一步分析。

多巴凝灰岩的岩土特征

在尾矿库拟建区域的新钻探（K系列）结果证实了多巴凝灰岩存在于该地点，深度为50米或以上。多巴凝灰岩对尾矿库的稳定性有深远影响，其一般性特征值得详细考察，我将在本文的补充附录A中进行讨论。

不稳定地基对尾矿库的影响

当今最著名的尾矿事故是2018年在巴西发生的布鲁马迪纽（Brumadinho）溃坝事故，我在之前的报告中已经讨论过。以下是事故发生过程的照片，显示尾矿的整个“墙

体”坍塌。这个尾矿库的坝壁设计是一种危险的传统设计，有很高的事故记录。这种坝体仅以小型防护堤组成的一层薄薄壳体，挡住巨量的容易液化的尾矿。使用这种设计的尾矿库，有些在经受一个温和的雨季季后便失事，有些甚至出现自发事故。

Time: 12:28:25



Time: 12:28:33



Time: 12:28:49



图2 2018年布鲁马迪纽尾矿库溃坝事故

布鲁马迪纽尾矿库使用的筑坝法，即所谓的“上游法（upstream method）”，如今在大多数地方已不再被接受，因为即使没有地震，这种方法也有很高的事故风险。达瑞矿业提出使用更坚固的岩石填充坝墙来固存尾矿。然而，无论坝墙的结构如何（即使是使用大体积混凝土），如果地基不稳，坝体就会下陷、变形或滑坡，最终导致漫顶，或者因局部裂缝扩大致使尾矿全部泄漏到低处。总之，如果地基不稳，上部结构也不会稳定。

此外，地基不稳还可能引致其他不同类型的事故。最主要的有：

（1）塑料防渗膜破裂。如不及时发现，会导致有毒化学物质⁶从尾矿库泄漏到该地区索科米河流域的地下水中；

（2）临时或永久性地下排水设施故障。例如去年发生于中国一钼矿尾矿坝的事故，导致有毒物质蔓延至下游约 123 公里处⁷（见图 3）；



图3 地基不稳可能导致尾矿泄漏，就算不一定会摧毁村庄，也可能导致有毒废物污染下游水域，例如去年发生的伊春鹿鸣尾矿库泄漏事件

⁶ 托米·阿尔文·里瓦伊（Tomy Alvin Rivai）、米津幸太郎（Kotaro Yonezu）、斯亚弗里扎尔（Syafrizal）和渡边浩一（Koichiro Watanabe）：《印度尼西亚北苏门答腊省达瑞县安靖潭（Anjing Hitam）铅锌矿床矿体和容矿岩的矿物学及地球化学特征及其环境影响》，《新型碳资源科学与绿色亚洲战略联合期刊（Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy）》，第六卷第一期，第 18-28 页，2019 年 3 月。

⁷ 《中国近期发生 20 年来最严重的尾矿泄漏事故》，<https://www.mining.com/chinas-recent-tailings-leak-the-biggest-in-20-years/>。

(3) 因地震破坏地基导致尾矿坝墙局部损坏。达瑞矿业 2021 年环评变更报告中的稳定性分析（见环评变更报告图 2.44）提到了这个问题，但并没有该稳定性分析的相关记录。

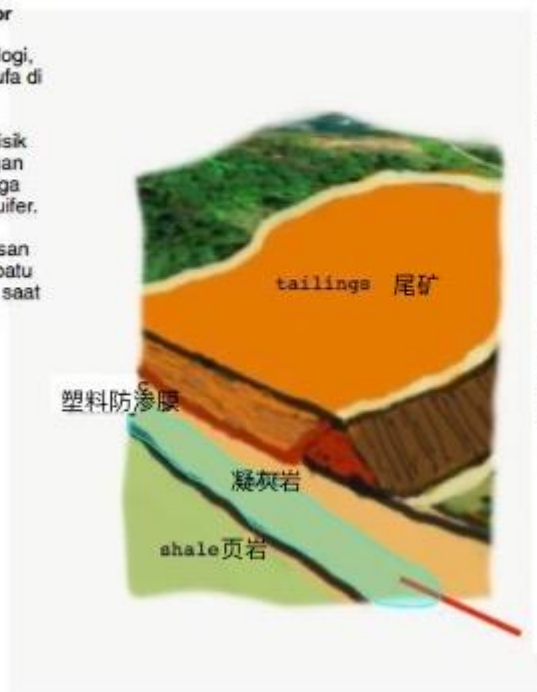
以上事故都有可能发生，而且鉴于该尾矿库的拟建地点，事故可能性是比较高的。除此之外，我在此提出另一个可能的事故风险，这点实际上在最新的环评变更报告中也提到了，即

(4) 尾矿库区域的大规模滑坡。

图 3 和图 4 模拟了可能的滑坡事故场景。基本上，尾矿库所在的整个斜坡都可能在尾矿库的重量作用下向下滑动（即使没有尾矿库的重量，多巴凝灰岩层也发生过类似滑坡（参见本文附录 A））。滑坡下限可能位于多巴凝灰岩层内或凝灰岩层底部的薄弱和高孔隙压力区域。如果出现这样的滑坡，尾矿坝崩溃或防渗膜破损在所难免。

3.1.9. Potensi Longsor

...Litologi: kondisi geologi, keterdapatannya batuan tufa di area TSF berpotensi longsor yang disebabkan oleh sifat fisik batuan itu sendiri dengan porositas tinggi sehingga berpotensi menjadi akuifer. Batuan tufa tersebut terendapkan pada lapisan batuan impermeable (batu serpih) sehingga pada saat akuifer menjadi jenuh berpotensi longsor....



尾矿库设施规划区岩性以多巴凝灰岩为主，厚度可达50米。在同一多巴凝灰岩单元中有几个监测井，如 AT-6 和 AT-10。从水文地质参数来看，多巴凝灰岩属于中高孔隙度水平。社区使用的一些水井在多巴凝灰岩层，与矿区含水层不相连。

规划矿区潜在滑坡由以下因素导致：

1) 尾矿库区域的中高强度降雨，年降雨量 1500毫米以上；

2) 岩性：地质条件，尾矿库地区有高孔隙度的凝灰岩，因此有可能变成含水层而导致滑坡。凝灰岩沉积在不可渗透的岩层（页岩）中，因此当含水层饱和时，就有可能发生滑坡。

图4 饱和多巴凝灰岩可能导致滑坡

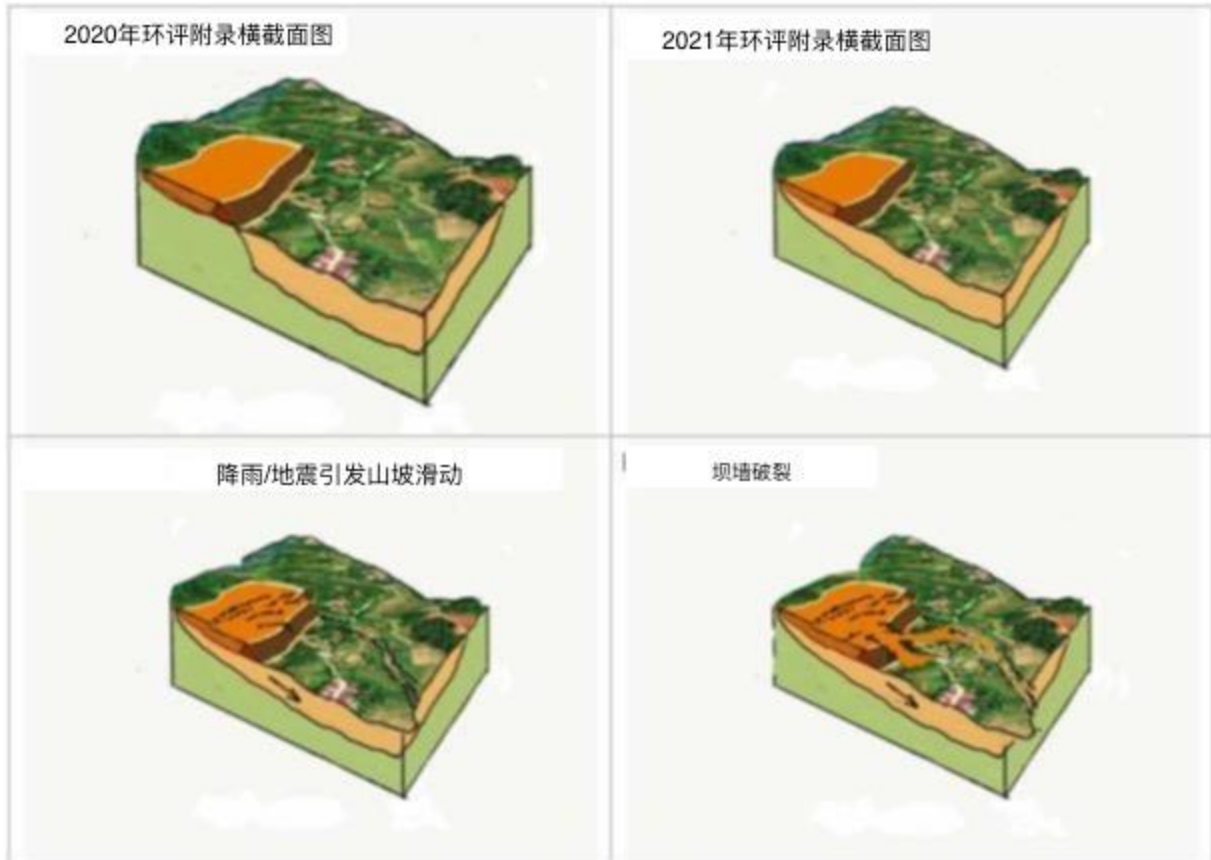
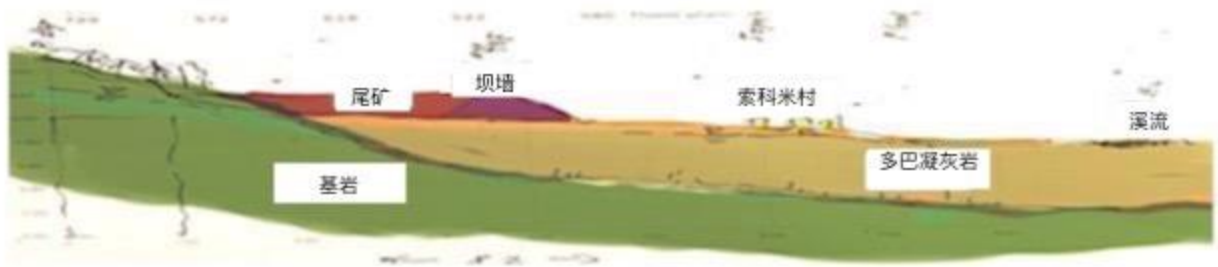


图5 2021年环评变更报告中的尾矿库区域横截面以及因降雨和地震可能导致的地面破坏事故场景

达瑞矿业/中国瑞林公司提供的稳定性分析

2021年环评变更报告（第2.5.3节）对坝体做了稳定性分析，看起来是由新引进的工程公司中国瑞林（China Nerin）使用澳大利亚国家大坝委员会（以下简称“ANCOLD”）2012年的规范进行的。

对此类稳定性分析进行充分评估所需篇幅较长，且由于达瑞矿业尚未提供相关分析文件，目前无法进行。然而，根据 2021 年环评变更报告透露的少量信息，即其以 Bishop 极限平衡法进行稳定性分析，并得出安全系数为 1.15 的结果⁸，我仍可就该稳定性分析的质量作出评价。

首先需要注意的是，ANCOLD 2012 规范已过时，并于 2019 年被新标准取代。鉴于达瑞矿业在 2021 年修订的环评变更报告中才开始提及 ANCOLD，那么使用这一过时标准要么是笔误，要么就是犯了一个重大错误。2019 年的 ANCOLD 规范吸取了近年发生的重大尾矿灾害的经验教训，并试图在未来减轻这些灾害。

其次，即便是过时的 ANCOLD 2012 规范，也要求进行更详尽的分析以对尾矿坝的移动或偏移进行预估，而不只是简单地以一个安全系数概之。这种分析对于该尾矿坝尤其不可或缺，因为：

- 使用此简单分析方法得出的安全系数非常低；
- 2021 年环评变更报告指出，该尾矿库将包含一些脆弱组件，包括塑料防渗膜和地基排水系统。如果发生一米以上的强烈地面运动，这些组件会破损。地面运动对这些组件的破坏将导致尾矿泄漏和水压上升，而且发生初期可能难以发现。由于发生在地基以下，这些损害也难以补救。从安全角度来看，这种情况不可接受。

第三，两版 ANCOLD 规范都要求尾矿库有专门的设计工程师。根据最新环评变更报告，项目方似乎并没有指派专门负责尾矿库设计的工程技术人员，唯一关于设计工程师的信息是第 2.5.3.2 节提到的 Knight Piesold 咨询公司。

*“该尾矿库的设计由 Knight Piesold 公司的顾问完成，该设施在最大月降雨量情况下使用寿命为 100 年”。*⁹

但这似乎不大可能。在 2019 年环评变更报告中，达瑞矿业称 Knight Piesold 公司，包括与高达工程咨询公司（Golder Associates）一起进行了现场勘探。据称，此勘探工作是在 2010 年进行的（“2010 年，高达和 Knight Piesold 的顾问工程师共进行了 119 次岩土钻探，总深度为 3,473.62 米”¹⁰）。同时，2019 年环评变更报告表 3.23 中 Knight Piesold 公司的岩心测试结果据称也是来自同一次勘探。然而，该表格的日期是 2004 年，因此不可能包含任何与 2010 年勘探活动有关的信息。事实上，环评变更报告文件表明，Knight Piesold 公司最近一次参与达瑞矿业的项目是在 2008 年起草了一份报告¹¹。这意味着，两版环评变更报告中关于 Knight Piesold 公司在 2008 年之后仍然受到委任的说法，要么是笔

⁸ 中国瑞林工程技术有限公司，《尾矿库稳定性分析》，2021 年。

⁹ 该印尼语文件的非官方英文译本可见于 <https://bakumsu.or.id/en/advokasi-tambang/>，第 2 页和 102 页。

¹⁰ 该印尼语文件的非官方英文译本可见于 <https://bakumsu.or.id/en/advokasi-tambang/>（点击“英文版”-“资源”），第 3 页和第 41 页。

¹¹ Knight Piesold 咨询有限公司，《尾矿库设计报告终版》，PE701-00030/12 Rev.号，2008 年 9 月，未出版（也从未发布）。

误要么是不实信息。这也说明该项目并没有专门的设计工程师。该项目已经进行了这么长时间，这种情况显然是不可接受的。更有甚者，如果以上信息真的存在弄虚作假的情况，作为一个要在如此高风险的环境中修建矿山和尾矿库的公司，此行为极其令人担忧。

达瑞矿业在 2021 年环评变更报告中提出的对策

达瑞矿业在 2021 年环评变更报告中承认存在地基不稳的问题，并简要提到了两种稳定地基的技术，即：

- (1) 石排水桩（原文如此，stone drain column），和
- (2) 含糊地提到将对上部多巴凝灰岩层（约 10 米）进行“改善”。

考虑到潜在不稳定凝灰岩的规模（坝体占地面积 > 100,000 平方米，体积 > 300 万立方米），这两项技术都需要处理大量不稳定土壤。改善多巴凝灰岩地基将是一个比尾矿库项目本身更大的项目。简而言之，这个方案不切实际。这样的规模需要数百甚至数千个石排水沟来缓解地震孔隙压力。中国一些小得多的项目试图应用这些技术的经验表明，如此项目极度复杂，¹² 很难相信达瑞矿业真的在考虑这个方案。况且，即使这个方案得以实施，大坝下游坡那些未改良的多巴凝灰岩（位于大坝和索科米村之间）如发生液化和滑动，仍可能导致大坝失事。

结论

我相信 2021 年的环评变更报告证实了我之前报告中指出的尾矿库地基不稳的问题。该尾矿库的设计和选址未能符合采矿废物处理相关的合适国际标准。

对安全风险减缓措施和相关背景文件进行审查分析是一项重要工作，应聘请独立评估员并根据现行的 2019 年 ANCOLD 标准进行。相反，达瑞矿业在 2021 年环评变更报告中采取的立场却是，可以等以后设计进入某个后期阶段再讨论最终减缓措施。我认为该环评变更报告提出的减缓措施是不可行以及未经证实有效的，并不符合包括 ANCOLD 规范在内的相关国际标准，特别是考虑到该矿山位于具有极端地震风险且降雨量非常大的地区。

如果在没有相关合规文件的情况下批准达瑞矿业的 2021 年环评变更报告，将会纵容一个很可能不具可行性的项目继续进行，或者放任项目方以极有限的减缓措施不尽责地开展项目。如此，该项目的安全风险将高如发生了溃坝事故的波利山（Mount Polley）和布鲁马迪纽尾矿库——正是这些事故促使新的 2019 年 ANCOLD 规范出台，取代 2012 年的标准。

总而言之，我相信，如果达瑞铅锌矿项目获得批准，几乎必然会导致像古巴艾尔科夫雷（El Cobre）、英国艾伯凡（Aberfan）和巴西布鲁马迪纽那样惨烈的人道和环境灾难。

¹² 王刚、魏星和刘汉龙：《考虑上覆结构的坝基土液化评估》，《岩石力学与岩土工程学报（*Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*）》，第七卷第二期，2015 年，第 226-232 页。ISSN 1674-7755, doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.02.005. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775515000219>)

补充附录 A

多巴凝灰岩的岩土特征

多巴凝灰岩的岩土特征在技术文献中并没有太多记录，但有足够的信息可以对此拟建尾矿库的情况作出合理评估。

多巴凝灰岩是一片广阔的火山灰覆盖层，覆盖着苏门答腊岛中部一大部分地区，其最晚近的来源是 75,000 年前位于达瑞矿山以东约 100 公里处、以多巴湖为中心的大规模火山爆发。奥尔迪斯 (Aldiss, 1980) 和切斯纳 (Chesner, 2011) 描述了多巴凝灰岩的地质特征。在达瑞项目的早期阶段，米德尔顿 2003 年的报告 (Middleton, 2003) 引用了由奥尔迪斯测绘的多巴凝灰岩分布范围。这张测绘图随后被达瑞矿业在其 2019 年和 2021 年的环评文件采纳，其准确性也在我的研究中得到验证。然而，关于该尾矿库选址区域多巴凝灰岩的深度及其特征一直存在争议，达瑞矿业之前一直坚持尾矿库下方的凝灰岩层不深，直到 2021 年的环评变更报告表明，尾矿库区的凝灰岩深度有 50 米以上，接近我的估计。除了现有的地质测绘，我还进行了地形处理研究，标明苏门答腊岛上这一区域凝灰岩的沉积范围。

图 6 和图 7 是两个示例，也可以线上查看我绘制的 3D 图。

理查德·L·米汉，达瑞矿区地形纹理图

6 公里局部达瑞矿山地形

<https://sketchfab.com/3d-models/sepia6km2-41ff73b164704804b630fb3829851b9e>

109 公里北苏门答腊地形

<https://sketchfab.com/3d-models/d109b-f3dda2c61b1d44f0bf25a83f1247db6d>

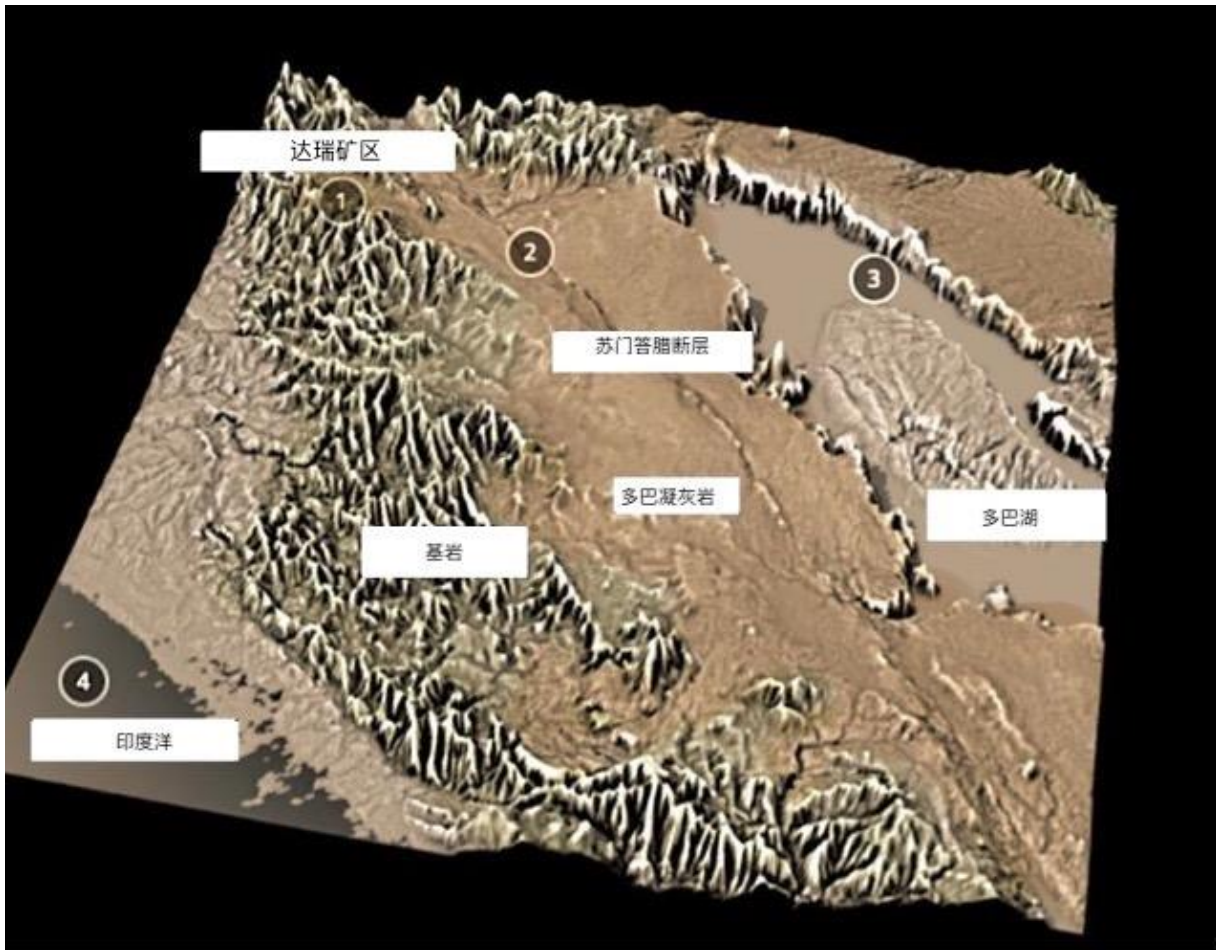


图6 多巴凝灰岩层覆盖苏门答腊中部一大部分区域

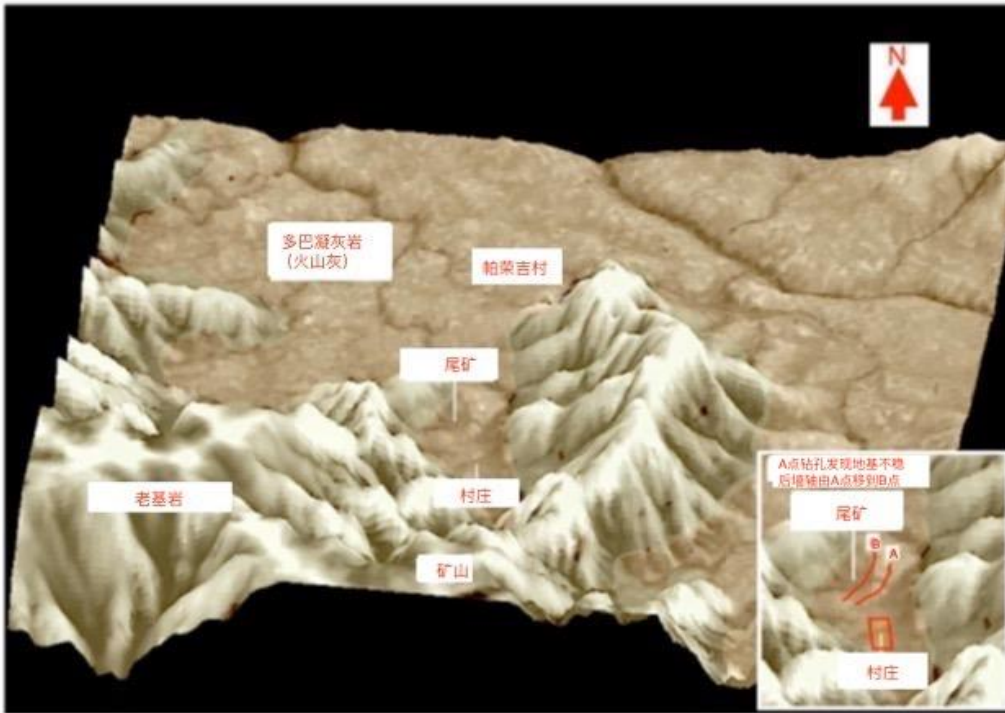


图7 达瑞尾矿库区地形纹理图。较低的地区是多巴凝灰岩，突出的基岩形成了索科米溪流周围的山丘

多巴凝灰岩是火山灰沉积物。在有些国家，“凝灰岩”一词往往让人们想起一个更具体的岩石，也即严格意义上的熔结凝灰岩（*welded tuffs*），这种岩石因可用作轻质建筑石材或浮石的性能而广为人知。“熔结”是指当极热的火山灰在下落或流动后凝固时发生的硬化过程，这个过程通常发生在沉积物的某个深度，形成一种重量轻、坚固但往往呈碎裂状的岩石，适合用作建筑石材。尽管据说多巴凝灰岩也包含一些熔结凝灰岩，但主要还是非熔结凝灰岩，即由砂砾大小的火山玻璃碎屑构成的松散体（切斯纳，2011年；以及我与该作者2021年的交流）。这些火山灰沉积物的岩土特性允许水分快速渗流并且表现出较差的稳定性，尤其是在含水量高或这饱和的情况下。



图8 锡纳朋火山 (Mount Sinabung)，火山灰在距达瑞矿山 50 公里处蔓延

火山喷发造成火山灰沉积，常常会掩埋现有地理景观，包括发育良好的土壤、森林和水体。高温火山灰通常会导致蒸汽爆炸性喷发、植被快速碳化，以及在沉积物底部随后形成不稳定的粘土矿物。这导致的结果是火山灰凝灰岩与其下旧景观之间的接触区往往会形成一个高渗流的不稳定区域。较浅深度（上层 100 米）的松散且往往水分饱和的非熔结凝灰岩，再加上与较旧景观之间的不稳定接触区，通常会造成棘手的岩土工程问题，包括地面沉降、结构坍塌和滑坡（即使是浅坡，且强降雨和地震会加剧这一问题）。如果强降雨造成的火山灰层水分饱和及抬升，与持续时间长的强烈地震同时发生，将导致同一地区发生多次滑坡。



图9 人们在清理锡纳朋火山喷出的火山灰

在印度尼西亚，人们对呈灰色、泥沙质的多巴凝灰岩普遍有所了解，这是因为当地不断发生小型火山喷发，包括达瑞周边地区。2021年锡纳朋火山喷发，不时有火山灰雨，沉积火山灰厚度普遍达几厘米，如图8和图9所示，YouTube网站上也有很多视频。锡纳朋火山已经间歇性活跃相当一段时间了，但近期没有发生深层凝灰岩沉积。历史上美国圣海伦斯火山（Mount Saint Helens volcano）喷发和1815年印度尼西亚坦博拉山（Mount Tambora）喷发造成了更严重、更危险的火山灰雨或火山碎屑流。然而，这些都无法与多巴火山喷发的规模相提并论，多巴火山喷发的火山灰甚至漂到了印度，据说造成了数年的全球气候变冷。

我找到了一些在苏门答腊中部的多巴凝灰岩层上拟建的大型土木工程（包括大坝和一个地热发电厂）的选址研究。1990年代一项日本研究试图在棉兰市（Medan）附近的河流上选择坝址，然后发现整个研究区域都分布着多巴凝灰岩。这些研究中的一些地点分布有熔结凝灰岩，被认为可以作为大坝的地基。但许多地点分布的是非熔结的多巴凝灰岩，勘测工程师认为其无法作为修建大坝的可靠地基。

拟建萨鲁拉（Sarulla）地热发电厂项目最近也在多巴凝灰岩分布地区进行了现场勘探，记录显示非熔结多巴凝灰岩处于松散状态（标准渗透测试N值小于10），上层10-30米存在地震液化风险。

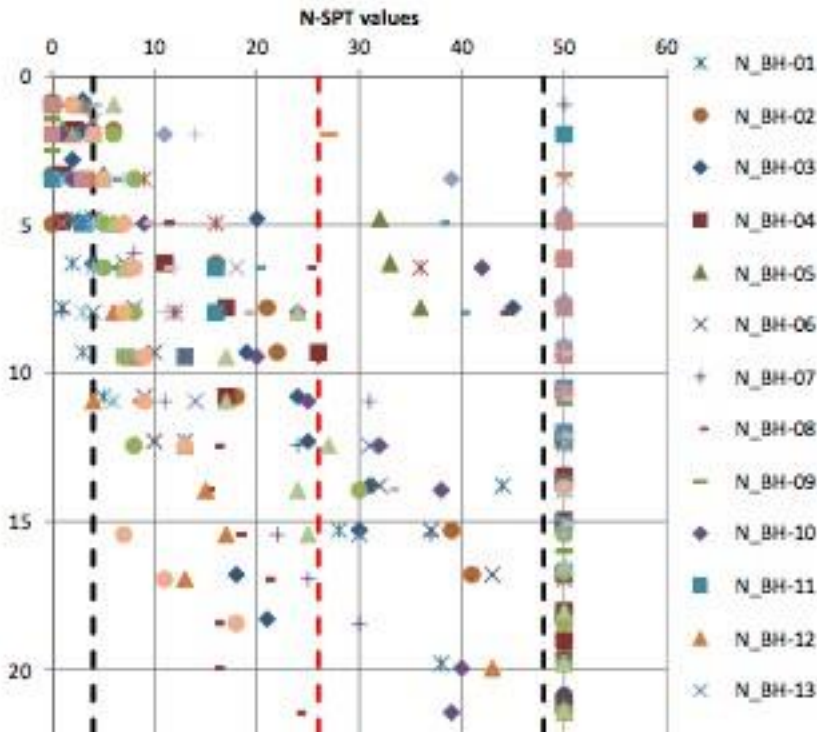


图10 萨鲁拉地热发电厂多巴凝灰岩标准渗透测试

萨鲁拉运营有限公司 (Sarulla Operation LTD)

萨鲁拉地热发电厂

地震危害案头研究

2013 年7 月

我还看到多巴凝灰岩分布地区的公路和桥梁建设项目的照片，据这些照片显示，因挖掘而暴露的区域在被降雨浸湿时会迅速软化为泥沙状，甚至无法支撑一个行人的重量。在这些照片中还能看到熔结凝灰岩的晶状体和非熔结凝灰岩散布在一起。所有这些似乎都与达瑞尾矿库区的多巴凝灰岩的特征一致，但两版环评变更报告都表示对此不确定：“关于最终尾矿库场地的地质结构信息非常难以获得”。（第 3.1.5.3.3 节）



图11 2020年日本：由火山灰覆盖的山体发生滑坡，同时伴有降雨和地震

世界上分布火山灰沉积物的地区大多对火山灰的不稳定性很了解。日本也有很多火山灰，就在2020年6月，当地发生山体滑坡（图11）。关注此次滑坡的地质学家强调，火山土壤特别危险：

即使是长期处于休眠状态的火山，遇到地震时也可能引发意想不到的危险。要特别小心火山土壤。

苏门答腊岛多巴凝灰岩分布的山体因降雨导致的滑坡已造成多人死亡。格拉切夫（Gratchev, 2020）¹³ 描述了多巴凝灰岩及其与下方基岩接触区域的特性。

¹³ 伊万·格拉切夫（Ivan Gratchev）、马瑟尔·伊尔西姆（Masyhur Irsyam）、東畑郁生（Iku Towhata）和哈斯布拉·纳维尔（Hasbullah Nawir）：《2009年9月30日印度尼西亚苏门答腊地震的岩土分析》，《土壤和地基（SOILS AND FOUNDATIONS）》，第51卷，第2期，第333-341页，2011年4月。日本岩土学会（Japanese Geotechnical Society），<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038080620300445>。



图12 2009年Parmina地区强降雨和地震引发山体滑坡致人死亡

达瑞矿业尚未发布达瑞矿区多巴凝灰岩的岩土数据，但最新环评变更报告中概括的信息足以说明地层存在不稳定性。例如，第1111节表明尾矿库下方的凝灰岩很不稳定，会在尾矿坝体重量的作用下下沉，因此需要采取补救措施，例如使用竖井排水（chimney drain）或对地面进行某种“改造”。

2018年12月的大雨也导致达瑞矿业的拟建尾矿库区域出现滑坡情况。这些在谷歌地球上清晰可见，而且当地河流里充满大量岩石碎片，所以当地人也都知情。最新的环评变更报告对此也有描述，其中还包括一张索科米山谷连着索科米村的地图，表示该村庄易受此类滑坡的影响。在像谷歌地球这样的平台上能清楚看到的发生在山坡高处的滑坡很多是较老岩层的碎片泥石流，而不是多巴凝灰岩，但也可能存在多巴凝灰岩层滑坡，这在2021年环评变更报告中被认定为事实：

规划矿区潜在滑坡由以下因素导致：

- 1) 矿区内的中高强度降雨，即尾矿库区年降雨量1500毫米以上；
- 2) 岩性：地质条件，尾矿库地区有高孔隙度的凝灰岩，因此有可能变成含水层而导致滑坡。
凝灰岩沉积在不可渗透的岩层（页岩）中，因此当含水层饱和时，就有可能发生滑坡。

该区域滑坡风险可参见环评变更报告图3.23（第3.1.9节）

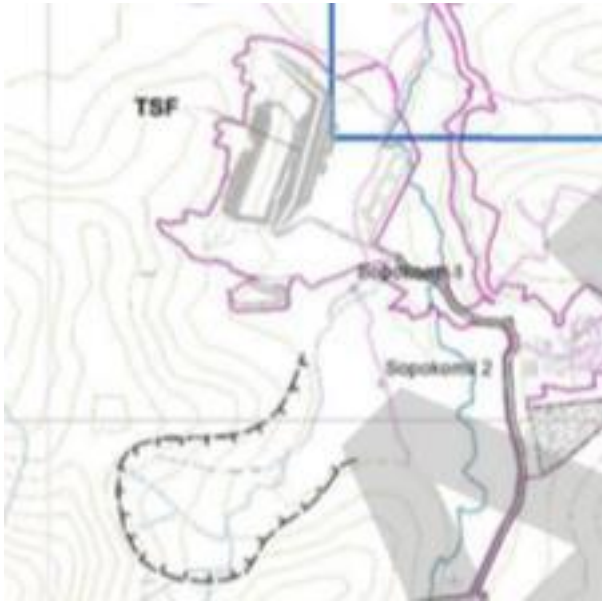


图13 2021年环评变更报告显示尾矿库周边的滑坡风险

这些滑坡被归因于多巴凝灰岩的存在，尽管环评变更报告中并未显示尾矿库所在地本身发生滑坡，但有理由相信，该地区即使没有尾矿库，也存在不稳定性，而尾矿库的重量将加剧现有的不稳定性。

两份环评报告指出，项目方对尾矿库所在地的多巴凝灰岩地貌知之甚少，作者本人也同意这一点。也许该地下方是火山灰下落时因水分二次蒸发而形成的破碎多巴凝灰岩；也可能该地以前曾发生过滑坡；还有人认为它可能是一个次生火山口，其下方不是基岩而是流纹岩。我的分析评估仅针对该矿区凝灰岩沉积深达50米这一假设进行（在此不再详述），但上述所有可能性都比处理50米深的凝灰岩更棘手。

补充附录 B

环评报告材料中缺失的重要文件

已向达瑞矿业索取但尚未提供：

请提供达瑞矿业的项目环境影响评价补遗书以及环境管理计划和环境监测计划（A类）-压缩页面 1-492 页（印尼语）（即“2019 年环评变更报告”）中提到的以下文件：

第 2-13 页：

《尾矿库岩土调查分析报告》（2011）；《水文分析（Kajian Hidrologi）》（2011）；
请提供与报告相关的所有附录和附件

.....

第 2-52 页：

《尾矿库岩土调查分析报告》（高达工程咨询公司，2011）
请提供与报告相关的所有附录和附件，比如钻探日志和实地测试结果

.....

第 2-57 页：

Studi yang telah dilakukan terkait dengan rencana TSF di Bondar Begu antara lain:

- a. 《尾矿库岩土调查分析报告》
- b. 《尾矿库设计报告终版》

.....

第 55 页：

Pada lokasi TSF telah dilakukan pemboran geoteknik pada 28 titik bor dengan total kedalaman 872, 57 m if records of 28 drill points are not included above.

.....

第 4-19 页：

Dokumen studi kelayakan (2015) menjelaskan Konstruksi TSF dilakukan dengan menggali tanah hingga bedrock dan material digunakan untuk meninggikan tanggul.

2021 年修订环评变更报告中提到的文件：

《水文研究》

《瑞林公司稳定性报告》

2020 年尾矿库的 K 系列钻探测试结果和钻探日志

参考文献

(也请参见本人于 2020 年 4 月发表的报告《印尼达瑞铅锌矿矿址风险与尾矿处置安全问题》之参考文献)

China Nerin Engineering Co.,Ltd. 2021, Stability Assessment Calculation of the TSF.

DPM. 2021. Adendum ANDAL, RKL dan RPL Tipe A Kegiatan Pertambangan Seng dan Timbal di Kecamatan Silima Pungga-Pungga Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara. <https://drive.google.com/file/d/1O-lfoR5i4-bkWAacJHL1F8OoLSs8rEHU/view>

DPM. 2019. Adendum ANDAL.

Emerman, S.H. 2020. Hydrologic Aspects of the Proposed Dairi Prima Mineral Mine, North Sumatra, Indonesia. *Inclusive Development International*. https://drive.google.com/file/d/1Q7qn_mgKQ6ZGEJJW5ebXeCkn0BTXQBHZ/view

Gratchev I, Irsyam M, Towhata I, Muin B, Nawir H. 2011. Geotechnical Aspects of the Sumatra Earthquake of September 30, 2009, *Indonesia. Soils and Foundations*, 51(2): 333–341. DOI: 10.3208/sandf.51.333.

Jamasmie, C. 2020. China's Recent tailings Leak the Worst in 20 years. *Mining [dot] Com*. <https://www.mining.com/chinas-recent-tailings-leak-the-biggest-in-20-years/>

Knight Piésold Pty Limited, 2008, Tailings Storage Facility Final Design Report, Ref. PE701-00030/12 Rev., September 2008, unpublished (and never released).

Leps, T. M., Strassburger, A. G. & Meehan, R. L. 1978. Seismic Stability of Hydraulic Fill Dams-Part 2. *Water Power and Dam Construction*, October, 43-58.

Meehan, R.L. 2020a. DPM Mine Site Risks and Tailings Disposal Safety. *Inclusive Development International*. <https://www.inclusivedevelopment.net/wp-content/uploads/2020/07/DPM-Mine-site-risks-and-Tailings-disposal-safety-April-2020-English.pdf>

Meehan, R.L. 2020b. Dairi Prima Minerals (DPM) Mine site risks and Tailings disposal safety. Review of Dairi 2019 EIA Addendum. <https://drive.google.com/file/d/1OiDnNcnpVIEMqKnSfxX2br0KQRe4b8wX/view>

Meehan, R.L. 2020c. Video about Review of Dairi 2019 EIA Addendum. *Youtube*. <https://www.youtube.com/watch?v=Z1hGvyN5gh4>

Middleton, T.W. 2003. “The Dairi Zinc-Lead Project, North Sumatra, Indonesia: Discovery to Feasibility.” Sydney Minerals Exploration Discussion Group (SMEDG). <https://www.smedg.org.au/Tiger/DairiZinc.htm>

Morgenstern, N.R. 2016. Geotechnical Risk, Regulation, and Public Policy. *The Sixth Victor de Mello Lecture*. https://www.victorfbdemello.com.br/arquivos/Lectures/6TH_VICTOR_DE_MELLO_LECTURE.pdf

Morgenstern, N.R. 1966. Approximate Solution of Seepage Problems by a Simple Electrical

Analogue Method (with Meehan R.L.). *Civil Engineering and Public Works Review*, 63, pp. 65-70, 1968.

Rivai, T.A., Yonezu, K., Syafrizal and Watanabe, K. 2019. Mineralogy and Geochemistry of Host Rocks and Orebodies at the Anjing Hitam Prospect (Dairi, North Sumatera, Indonesia) and Their Environmental Implications. *Evergreen* 2019, 6, 18–28.

Wang, G, Wei, X, and Liu, H. 2015. Liquefaction Evaluation of Dam Foundation Soils Considering Overlying Structure. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(2): 226–232. DOI: 10.1016/j.jrmge.2015.02.005.