

2019 年巴西布魯馬迪紐市礦渣堆置場崩塌事件初探

何瑞益、傅鑣漩、施虹如、張志新

國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

摘要

2019 年 1 月 25 日於巴西布魯馬迪紐市(Brumadinho)之 Córrego do Feijão 礦區發生嚴重礦渣堆置場崩塌災情，崩塌後大量鐵礦渣，混雜著泥水，約 100 萬立方米傾瀉而下，大量廢泥漿瞬間淹沒周邊地區，截至 2020 年 1 月 25 日為止，官方統計死亡人數達 259 人，另有 11 人失蹤。而搜救時間為巴西歷史上最長的一次，超越巴西里約熱內盧州 2011 年 1 月坡地災害事件。此外，巴西政府正面對災後居民生活、生態環境的復原以及尾礦管理等問題。此次崩塌的主要原因初判為結構物安全管理層面缺失，造成嚴重的生命財產損失與環境衝擊。

一、背景說明

巴西鐵礦砂的儲量排名全球第 5 大，是全球第 2 大鐵礦砂出口國，鋁土的出產也僅次於澳洲，有較強工業潛力，鈾、錳、鎳等礦產也有潛在巨大存量。巴西北部是亞馬遜河流經的廣闊雨林地區，人煙

稀少，東南部地區多丘陵，大部分人口居住於此，是巴西人口最稠密的地區，其中聖保羅市(San Paulo)是首都暨第一大城市。

如圖 2 所示，巴西布魯馬迪紐市(Brumadinho)崩塌事件位於米納斯吉拉斯州(Minas Gerais)，葡萄牙州名「Minas Gerais」為中文「礦山」之意，具有豐富之礦產。其地理位置為巴西首都聖保羅市東北方約 450 公里處，氣候屬於亞熱帶地區，面積 586,528 平方公里，約為台灣全島面積 16.2 倍；人口約 2 千 1 百萬人，人口比台灣相近。全年平均溫度為 28°C，全年平均降雨量 1,284 毫米，雨季集中在 10 月到隔年 4 月左右，月平均累積降雨約在 16.3~239.2 毫米之間，資料詳見表 1。

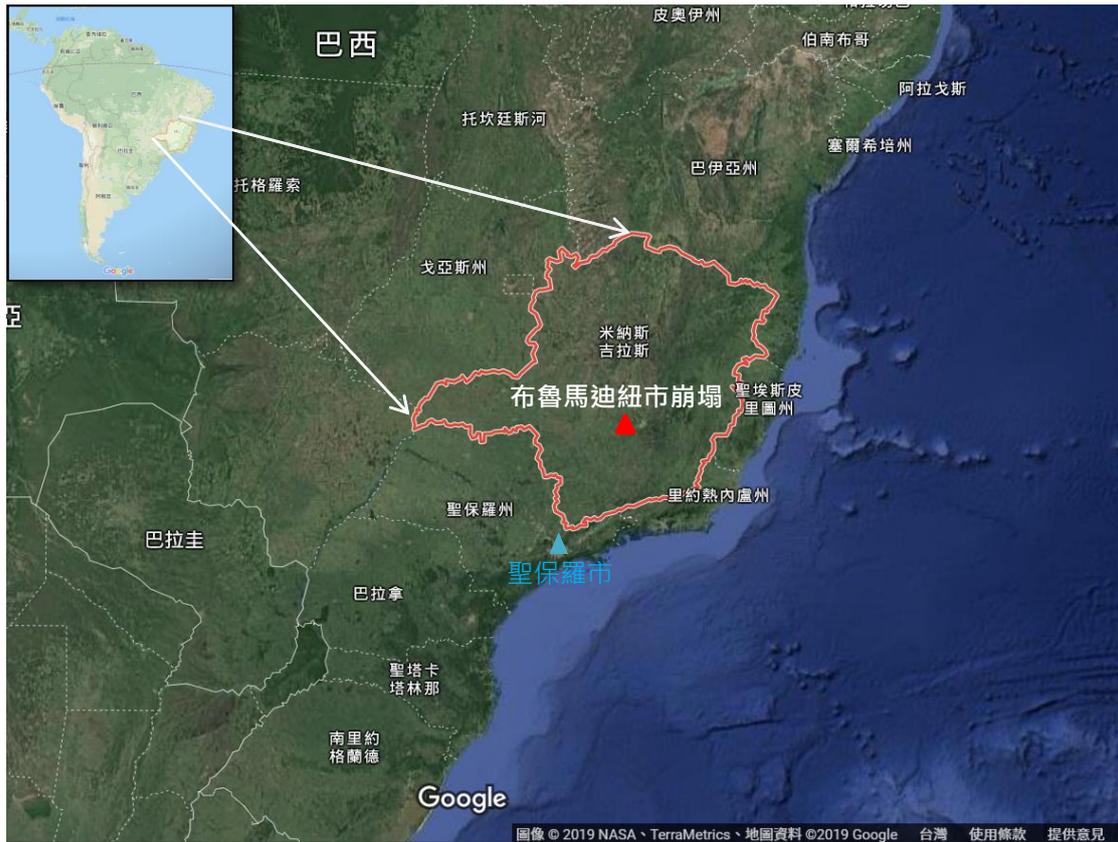


圖 2 巴西米納斯吉拉斯州與布魯馬迪紐市崩塌事件之地理位置

(資料來源：Google map)

表 1 米納斯吉拉斯州氣候平均數據(資料來源：Weatherbase)

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均高溫 (°C)	23.1	23.4	23.1	21.6	19.5	18.2	17.8	19.5	21.1	22.2	22	22.1	21.2
平均溫度 (°C)	29.2	29.7	29.6	28.3	26.8	26	25.6	27.4	28.3	28.6	28	27.8	28
平均低溫 (°C)	18.4	18.5	18.4	16.5	14.3	12.4	11.8	13.1	15.3	17.3	17.7	18.1	16.1
降水量 (mm)	184.6	158	157.6	78.2	32.9	20.3	16.3	16.9	48.6	99.6	190.2	239.2	1284

二、巴西布魯馬迪紐市礦渣堆置場崩塌事件

巴西米納斯吉拉斯州 (MinasGerais) 城鎮布魯馬迪紐市

(Brumadinho)一座鐵砂礦場之尾礦壩¹，主要用於堆置回收採礦後剩餘廢水與礦渣，2019年1月25日中午12:00左右，在無預警之下發生崩塌，約100萬立方米鐵礦渣的泥漿傾瀉而下，導致河谷公司辦公區及附近村落費爾特戈(Ferteco)埋沒，據估計當時衝擊速度高達80 km/hr，快速地淹沒3輛火車頭和132架貨車，並沖毀火車鐵路橋與鐵軌。截至2020年1月25日為止，官方統計死亡人數為259人，另有11人失蹤。根據巴西國家礦業局(National Mining Agency)資料，發生事故的Córrego do Feijão dam建於1976年，當時被列為低風險但對下游具有高衝擊的小型結構物，由Ferteco Mineração公司建造，該公司於2001年被淡水河谷公司(Vale S.A.)收購。淡水河谷公司是一家巴西跨國公司，主營金屬冶煉和採礦業，同時也是世界第二大礦業公司、最大的鐵礦砂與鎳供應商。根據淡水河谷公司說明，曾由TÜV南德意志集團(TÜV SÜD)於2018年9月對於結構物進行視察，但並無發現結構物存在問題。而於2019年1月再次對結構物進行安全檢測時，也沒有發現任何缺陷。

如圖3所示，根據Copernicus Sentinel-2A-L1衛星資料(2019/01/27)、OpenStreetMap、以及美國NASA太空總署SRTM data

¹ 尾礦壩(Tailing dam)：一種為形成堆貯各種礦石尾料的場庫所建的結構物。(資料來源：wiki)

(Shuttle Radar Topography Mission)所提供的數值高程資料，圖中 A 位置點為主要發生崩塌之結構物；B 位置點則為另一座危險的結構物，(如圖 4 所示)；C 位置點為費爾特戈村落(Vila Ferteco)為河谷公司辦公室與主要礦坑之位置，為此次罹難人數最多之處；D 位置點為鐵路橋斷橋位置；E 為匯入主要河川 Rio Paraopeba 河之匯流口。

發生崩塌之礦區位於布魯馬迪紐市(Brumadinho)東方、紅色區域為影像判釋災害後因礦渣與廢水混雜而淹沒範圍。如圖 5 所示，根據 NASA Earth Observatory 提供的 Landsat 8 衛星影像，可知此次災害前後之植生覆蓋之情況與崩塌及影響的範圍。相關災害照片如圖 6 至圖 9 所示。

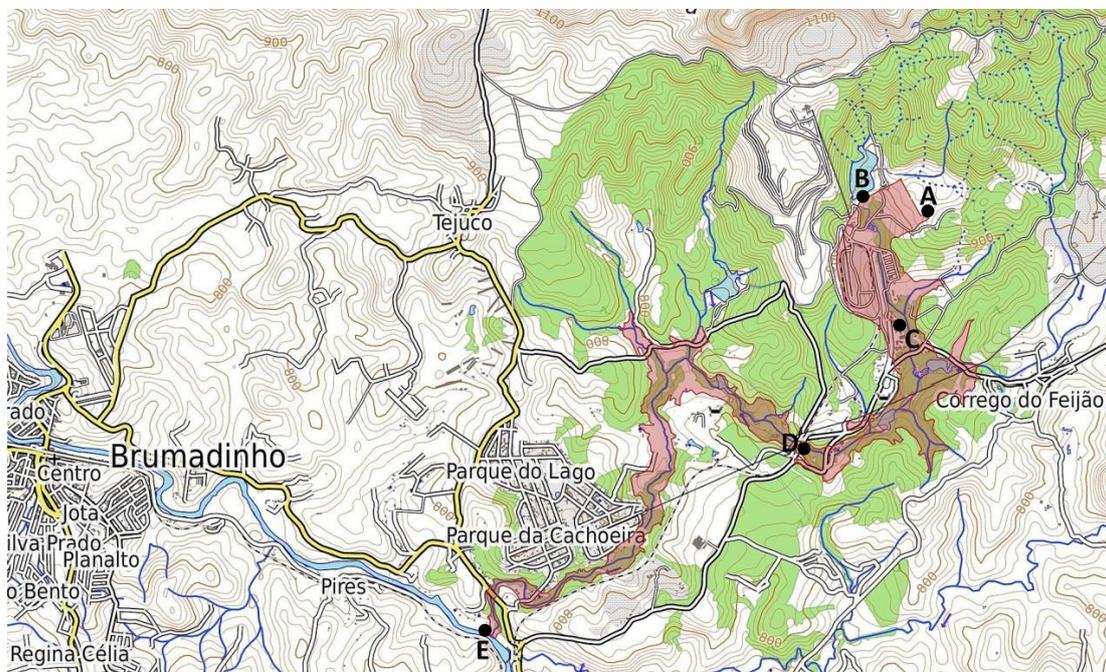


圖 3 崩塌位置與影響範圍 (資料來源：wikimedia)



圖 4 礦區災後衛星影像(2019/02/02)
(資料來源：Google Earth)



(a) 災前 (2019/01/14)

(b) 災後 (2019/01/30)

圖 5 災害前後 Landsat 8 衛星影像
(資料來源：NASA Earth Observatory)

根據當地消防隊的調查指出，1 月 25 日崩塌發生時，因警報系統故障，未能及時通知礦工與居民逃生。不過淡水河谷公司的總裁表示，事故可能發生得太快，導致警報器來不及開始運作。巴西政府雖在第一時間出動緊急救援，並疏散低窪地區的居民，然而泥漿隨著時間的風乾與硬化，搜救難度大幅提升。此外，尾礦中的鐵礦可能會滲入河流的泥土中，最終影響整個地區的生態系統。對於布魯馬迪紐市的農業與畜牧業均受相當程度的影響。



圖 6 崩塌瞬間影像紀錄 (照片來源：紐約時報)



圖 7 崩塌後礦渣與泥漿堆積公路情況 (照片來源：紐約時報)



圖 8 崩塌後搜救情形 (照片來源：Douglas Magno / AFP)



圖 9 跨河鐵路橋梁遭受沖毀 (照片來源：Douglas Magno / AFP)

巴西布魯馬迪紐市崩塌事件紀錄^[1-3, 5, 7-8, 13-16]：

- 2019 年 1 月 25 日 12:00 崩塌，造成下游嚴重損失與傷亡，下午 3 時 50 分，鐵礦渣與廢水湧入該區的主要河流巴拉奧秘拉河 (Paraopeba River)。
- 1 月 26 日：淡水河谷公司被巴西政府凍結資產 60 億巴西雷亞爾 (約新台幣 490 億)，將做為賠償損失之用。
- 1 月 27 日：傳出附近結構體破裂警報，搜救行動一度暫停。
- 1 月 27 日：以色列派出 136 位搜救人員與相關設備，前往米納斯州協助救援。
- 1 月 28 日：淡水河谷公司股價大瀉 24.52%，惠譽國際(Fitch Group) 信用評級機構下調河谷公司的信貸評級，由 BBB+ 跌至 BBB-，並列入負面觀察。
- 1 月 28 日：巴西布魯馬迪紐市市長阿維馬爾·巴爾塞洛斯在接受採訪時表示：原本希望淡水河谷公司能夠從三年前崩塌事件中吸取教訓的，但現在又遭受的災難，已經對淡水河谷公司進行相關懲處。

- 1月31日：巴西政府逮捕5名失職工程師，其中包含德意志集團巴西分公司的2名僱員，進行偵訊與調查。當下死亡人數上升到84人，276人失蹤。
- 2月7日：巴西國家礦業局(National Mining Agency)頒布新法令，統計共有88座尾礦，要求拆除同類型的結構體或是轉換成其他種類之結構體，避免相同崩塌災害再次發生。
- 5月25日：罹難人數已上升至242人，目前仍有28人失蹤。米納斯吉拉斯州另一個巴西淡水河谷公司所屬的鐵礦廢料存放處亦有崩塌風險。該結構體附近的450多名居民已安全撤離。
- 10月16日：國際貨幣基金(IMF)指出淡水河谷公司近20座結構物因安全原因被查封後，宣布減產，今年原預期銷售4億噸鐵礦石，也將削減9,280萬噸，促使鐵礦石在國際市場上達到近5年來的最高價格。¹
- 11月21日：距崩塌事故滿300天，死亡人數為254人，仍有16人失蹤。復原行動仍然持續中，為巴西歷史上最大的一次搜救行動，超過了巴西里約熱內盧州2011年1月坡地災害事件。

- 12月4日：巴西經濟在內需和投資復甦遲緩的情況下，亦受1月份發生的巴西布魯馬迪紐市崩塌事故影響，鐵礦石的出口持續下降。
- 2020年1月9日：官方統計死亡人數為259人，仍有11人失蹤。

三、災害原因探討

巴西米納斯吉拉斯州班托羅德里格斯 (Bento Rodrigues)鐵礦區曾於2015年11月5日也發生過鐵礦場崩塌，當時崩塌事件亦造成至少17人死亡，16人受傷，約6,000萬立方公尺的廢鐵水流入多希河 (Doce river)。17天後具有毒性的棕色土石流流入大西洋，造成生態環境與野生動植物的嚴重影響，此事件是巴西史上最嚴重的環境災害。

由歷史災害可知，2015年班托羅德里格斯尾礦與2019年布魯馬迪紐市崩塌事件均與淡水河谷公司有關，如今類似災害事件重演，許多報導認為巴西政府和礦業公司缺乏詳盡的尾礦管理與應變作為。而此兩次崩塌事件肇事的結構物均為礦區的尾礦壩。如圖10所示，尾礦（或稱礦渣）壩裡儲存的，為開採以及選礦過程後留下的廢棄物和廢水，大多富含重金屬及化學原料，有別於一般我們認識的水壩，尾礦壩通常會隨著礦場的開採而日漸擴張和上升。而增建高度的材料通常為礦渣本身，是以此種結構物是十分不穩定。

此外，根據當地消防隊調查指出，警報系統未能正確運作，未能及時通知礦工與居民逃生。而根據巴西政府調查報告指出，巴西境內共有 24,092 座尾礦壩，但 2017 年做安全檢查時只考核 3% (780 座) 的尾礦壩。同一年，被列為高風險的尾礦壩從 695 座增加到 723 座，由此顯示政府單位未能有效評估風險，做出相應的監管行動。而巴西尾礦結構物安全性是由各公司定期請獨立的稽查單位來檢查，整個流程的問題在礦產公司可以自行挑選稽查人員，提供他們自己分析的結果，因此結構物之安全考核缺乏政府把關。根據路透社的報導，有初步的證據顯示，結構物是因為結構物液化與管湧(Piping)而產生崩塌，而發生災害的結構物採用最便宜與最不穩定的尾礦壩設計建造。

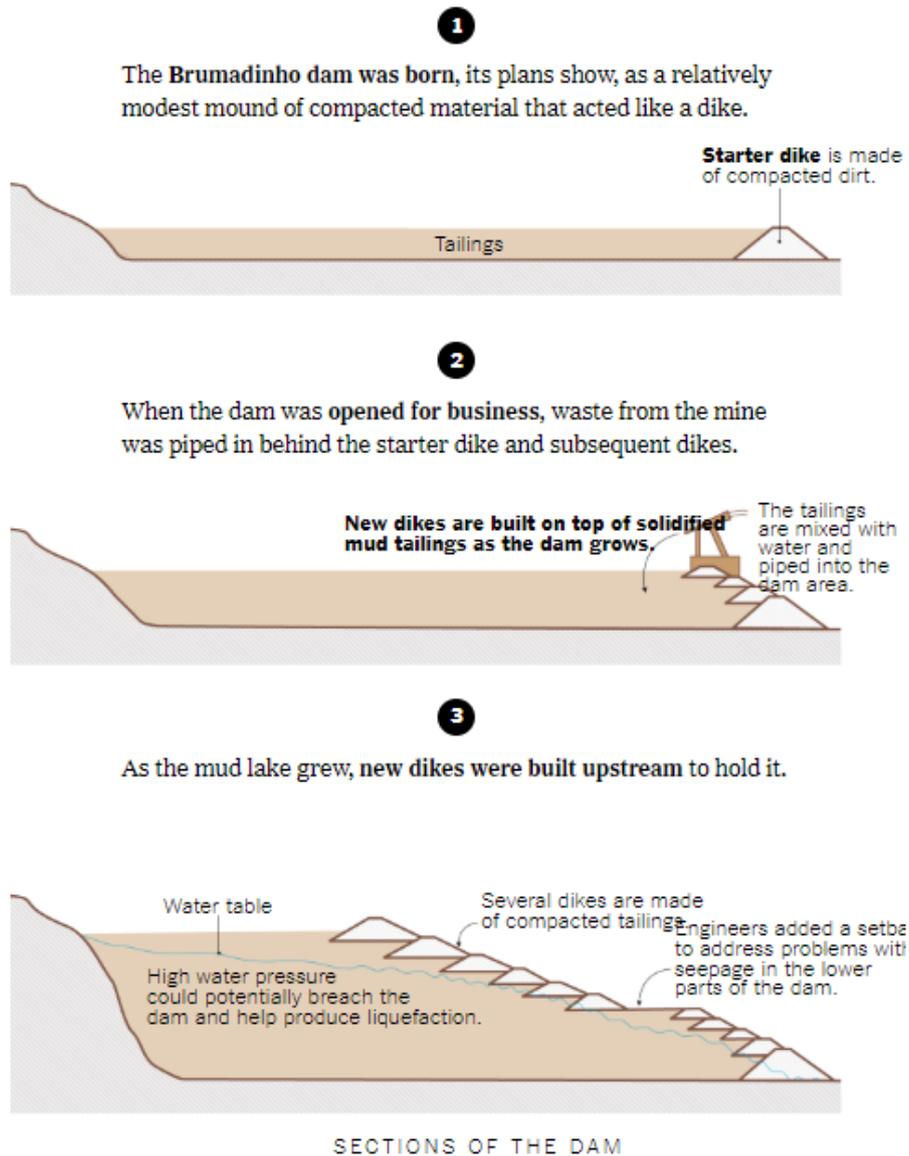


圖 10 尾礦結構物建置流程 (資料來源：紐約時報)

四、 結論

巴西鐵礦砂的儲量排名為全球第 5 大，且為全球第 2 大鐵礦砂出口國，經濟成長相當有仰賴於鐵礦業，但 2015 年班托羅德里格斯與 2019 年布魯馬迪紐市崩塌事件，許多報導認為巴西政府和礦業公司

缺乏詳盡的尾礦管理與應變作為。而巴西政府也在此次災害後重新省思，如國家礦業局(National Mining Agency)頒布新法令，要求拆除同類型的結構物或是轉換成其他種類之結構物，避免相同崩塌災害再次發生。

參考文獻

1. Reuters. Brazil set to ban upstream tailings dams after collapse kills hundreds (2019-02-07)
<https://www.reuters.com/article/us-vale-sa-disaster/brazil-set-to-ban-upstream-tailings-dams-after-collapse-kills-hundreds-idUSKCN1PW1MY>
2. EPOCH TIMES (大紀元)
<http://www.epochtimes.com/b5/19/1/26/n11003193.htm>
3. 維基百科-巴西經濟
<https://zh.wikipedia.org/wiki/巴西經濟>
4. 維基百科-巴西
<https://zh.wikipedia.org/wiki/巴西>
5. 維基百科 2019 年巴西布魯馬迪紐尾礦壩事故
<https://zh.wikipedia.org/wiki/2019%E5%B9%B4%E5%B7%B4%E8%A5%BF%E5%B8%83%E9%AD%AF%E9%A6%AC%E8%BF%AA%E7%B4%90%E5%B0%BE%E7%A4%A6%E5%A3%A9%E4%BA%8B%E6%95%85>
6. 維基百科 2015 年巴西班托羅德里格斯災難
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%8F%AD%E6%89%98%E7%BE%85%E5%BE%B7%E9%87%8C%E6%A0%BC%E6%96%AF%E6%B0%B4%E5%A3%A9%E7%81%BD%E9%9B%A3>

7. 維基影音

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Brumadinho_dam_catastrophy_2.jpg

8. 紐約時報(NYTimes)

https://www.nytimes.com/interactive/2019/02/09/world/americas/brazil-dam-collapse.html?fbclid=IwAR1ysNp8rPVy7wPONCDkbUbey6fsg8_nt64CcZ4JtwvWz8Hk1ox6ZOff4

9. 美國國家航空暨太空總署(NASA)

<https://landsat.visibleearth.nasa.gov/view.php?id=144501>

10. 巴西統計局 IBGE : <http://www.ibge.gov.br/home/>

11. NASA Earth Observatory:

<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>

12. 巴西國家氣象科學研究所(INMET) : <http://www.inmet.gov.br/#>

13. 經濟日報

<https://money.udn.com/money/story/5599/4106803>

14. PPTNEWS

<https://pptnews.cc/2105ceffad>

15. KKNEWS

<https://kknews.cc/zh-tw/world/3qvqmv8.html>

16. Reuters. Exclusive: Brazil prosecutor aims to charge Vale within days over mining waste dam disaster (2020-01-09)

<https://www.reuters.com/article/us-vale-sa-disaster-exclusive/exclusive-brazil-prosecutor-aims-to-charge-vale-within-days-over-mining-waste-dam-disaster-idUSKBN1Z72GS>