

# 香港南部南风道南风入口通风大楼岩土工程设计

陈永辉 陈国雄 URS / 伟信集团

内容提要：南风入口通风大楼将建在南风隧道的南端。南风隧道是南港岛线（东段）项目的一部分，从金钟到南区把现有的地下铁路连接了起来。通风大楼的拟建地址上条件复杂，水平高度差异大，不仅导致楼体结构需要承受巨大的横向土压，同时还需要沿南风道附近的边坡进行深层开挖。基础系统由垂直和倾斜的嵌岩H型钢桩及一个巨大的混凝土桩帽组成，桩帽各部分的顶面高度也有很大差距。挖掘与横向支撑（ELS）工程将包括钢管桩墙、横挡和支撑以及地锚等。在地盘平整工程，还将在南风道上建设一条临时的工地通道，为在水平高度差异巨大的地盘上进行施工活动提供便利。

## 引言

南港岛线东段项目是现有港铁线路的续建，从金钟站到香港南区，连接了现有的港岛线与荃湾线。拟建延长线路长约7.3公里，其中包括中区金钟站与南区南风道之间长3.3公里的南风隧道，以及南部终点附近鸭脷洲上长1.6公里的利东隧道。连接两条隧道的是长约2.4公里的高架段。另外，延长线路还包括高架段沿线的两个地上车站——黄竹坑站和海洋公园站，以及分别位于利东隧道两端的两个地下车站——利东站和海怡半岛站。针对两条隧道的建设，还需要在金钟站附近的

香港公园、南风隧道南端的南风路，以及利东隧道途经的鸭脷洲利荣街三个地方建设通风大楼。

本文论述了南风入口通风大楼（以下简称“NFP”）的岩土工程设计，该大楼位于南风道下山方向的陡峭山坡中人工斜坡上。确切地说，这座大楼将建在11SW-D/F341号人工填土斜坡上，是一座7层的矩形建筑，其长边面沿南风道成东西走向。大楼南北两端的地面水平高度相差高达26米——位于南风道北面的地面高度约为+38 mPD，而南面的地面高度平均约为+26 mPD，但再建造与南风连接的过渡匣的水平为+14mPD。通风大楼共有7层，其中面向南风道的一侧有两层位于地上，其余五层为半地下建筑，而朝南一侧有5层位于地面上，以支持两边地面的水平高度差异。最底层将作为南风隧道的入口，隧道出口则位于南风道下面的山坡。隧道将穿过通风大楼，到了南端还将有一段明挖回填隧道。图1展示了大楼所处的位置，图2是说明隧道布局、隧道入口及大楼两端高度差异的大楼南北方向横截面。本项目的地基设计方案运用建筑结构保持两边地面水平的高度差异，以及施工顺序和方法等方面的考虑将在以下段落进行讨论。

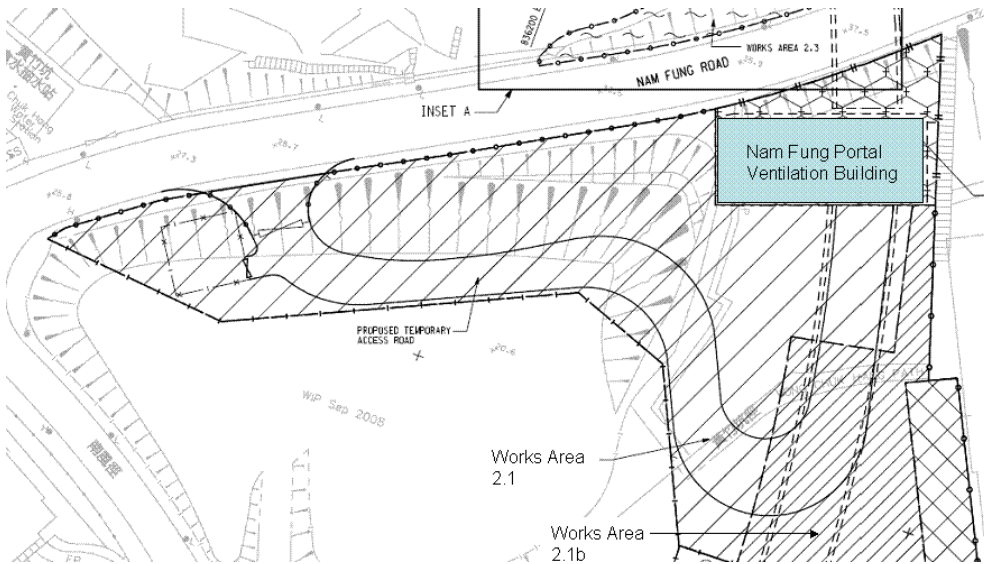


图 1: 南风入口通风大楼的位置平面图

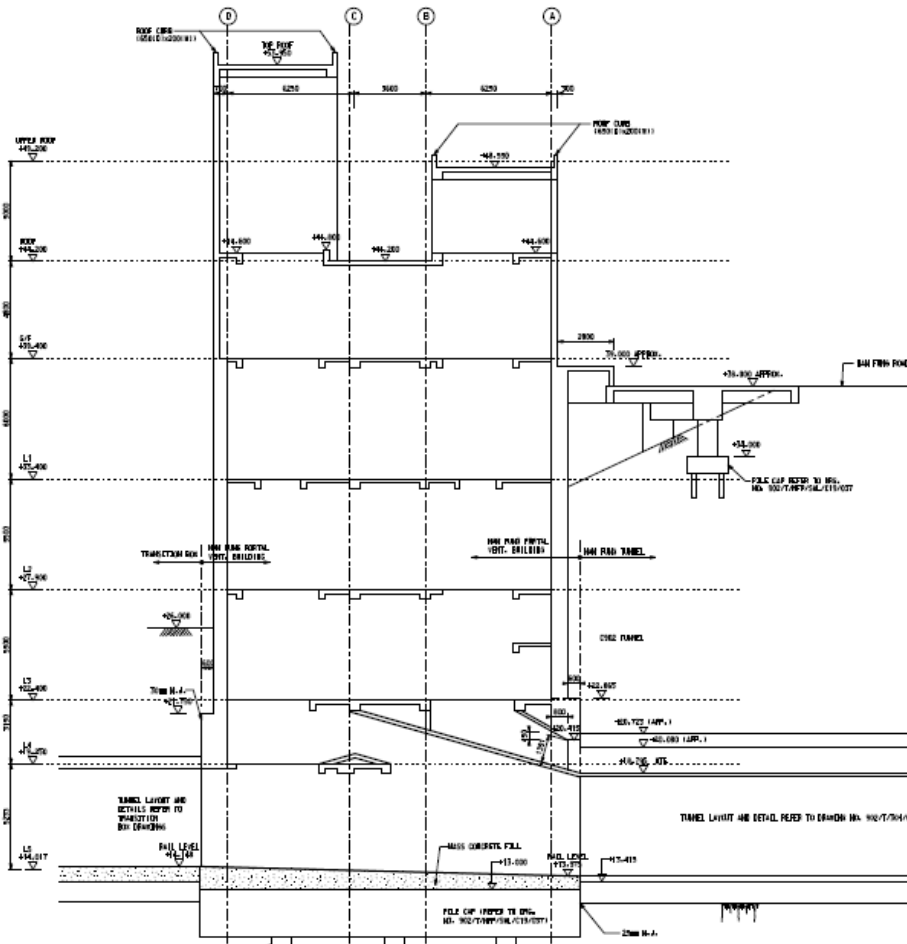


图 2: 南风入口通风大楼的横截面

### 地基设计

图3是香港南区地质图的一部分。该图显示项目地盘的下面是一层属于鸭脷洲地质层组的细灰质玻璃凝灰岩（图3中“JAC”所指的位置），在东北部则混入了

细质的石英正长岩（图3中“sqm”所指的位置）。该图还表明地盘的西侧存在崩积层。

土地勘测记录显示，在NFP区域附近有2至3米厚度的填土层。填土层下面是非常脆弱到脆弱、完全分解到

高度分解的石英二长岩/石英正长岩(5级,局部为2级), 往下还原成坚硬到非常坚硬的砂质粉土和微细到中细度的砂砾石英碎片, 深度约为21米。在NFP的西南部, 土地勘测钻孔中未发现填埋土质, 但是在地下钻到了1.5至2米的崩积层。此处, 一段极度脆弱且完全风化的

凝灰岩和花岗岩(5级)相间连续地层往下还原成坚固的粉土和强到极强的轻度风化凝灰岩和花岗岩(2级), 深度为13米, 再下面则是强到极强的轻度风化凝灰岩和花岗岩(2级, 偶有3-4级)。

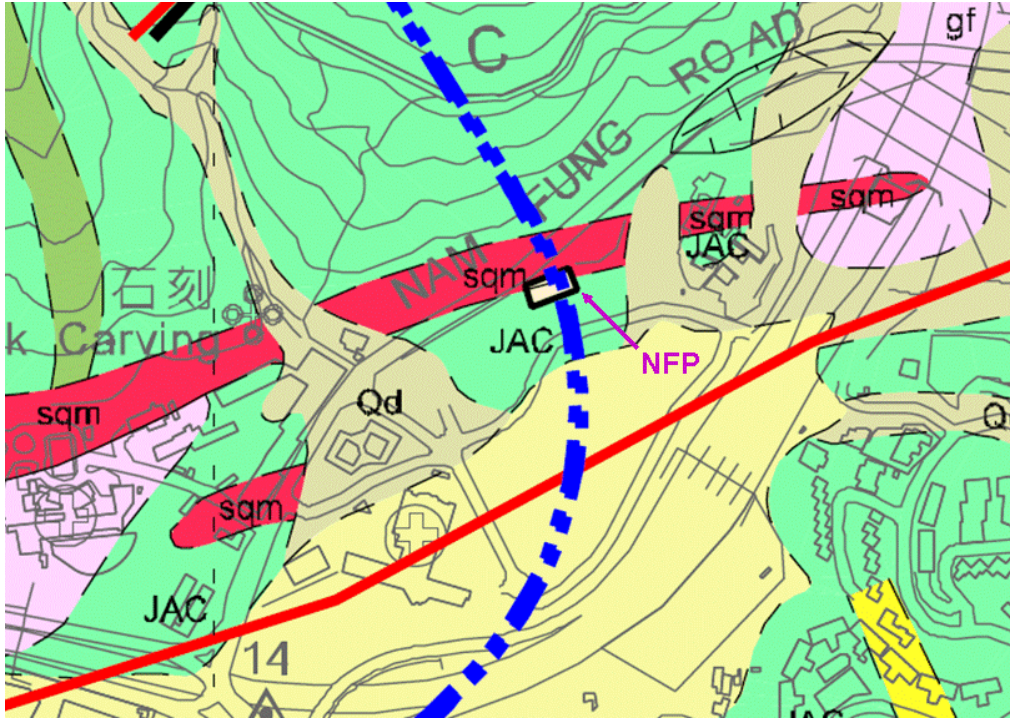


图 3: 地质图

根据记录的潜水水位内插,地基附近区域的地下水最高水位在+24.0mPD到 +25.5mPD之间。为了适应地基的设计, 地下水位设计采用+28mPD, 比历史水位总体高出2到3米。

由于在大楼下面相应的浅层区域存在强基岩, 因此我们建议采用由嵌岩H型钢桩和混凝土桩帽构成的地基系统, 用以将作用在结构上的上层建筑负荷、横向风负荷和土壤负荷转移至基岩层。建筑两端较大的水平高度差异导致建筑在南北方向承受了很大的横向土壤负荷。另外, 大楼和地基系统两端的地下水位也存在较大差异, 因此还需要抵御因液体静压力不同而造成的横向负荷。由于通风大楼是铁路系统的一部分, 所以我们在建筑结构和地基的设计中亦充分考虑了抗震荷载。因此, 大楼和地基在南北方向都承受了很大的横向负荷。此外, 大楼的东西两端也存在一定的地面水平高度差异,

考虑到地震效应, 这一方向上同样有不小的横向负荷。

通风大楼上部结构所造成的竖直与横向荷载设计由115根305x305x223kg/m(公斤/米)的工字钢桩承载, 其中有111根桩建在用于支持建筑主建构的大型承台中, 另4根桩每两根分为一组, 两组的承台用带形梁连接, 用于支撑大楼与南风道之间的高架甲板结构。桩的设计为6.5米嵌岩于III级或以上岩质标准, 其承载能力可达5900kN(千牛顿)。

如上所述, 由于土壤和地下水的原因, 大楼的横向荷载非常大, 用于支撑通风大楼的大型承台中使用了倾斜度在1(水平)比4(垂直)的斜桩。承台的111根桩中包括38根倾向地势较低的南边的南北方向斜桩、9根倾向东边的东西方向斜桩及64根竖直桩。这部分斜桩主要用于承载土壤、静水压及风荷载造成的横向荷载, 而建筑结构的竖直荷载及斜桩承载横向荷载时产生的反

力则主要由竖直桩承载。由于斜桩的倾斜比为1:4，每根斜桩所产生的向上的垂直反力将是所承载的横向荷

载的四倍，给竖直桩造成拉伸荷载。桩布局规划详见图4。两个方向的标准横断面图详见图5与6。

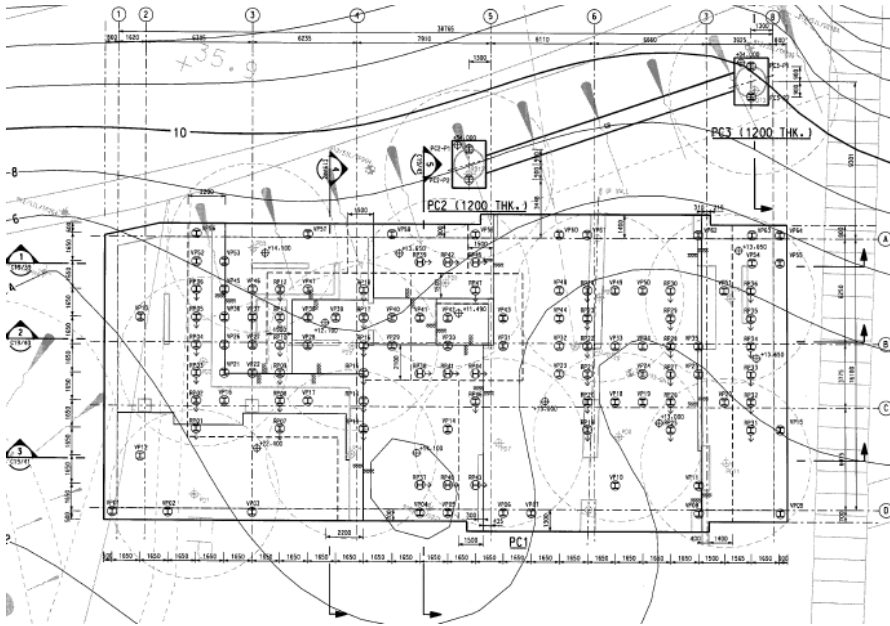


图4：桩布局平面图

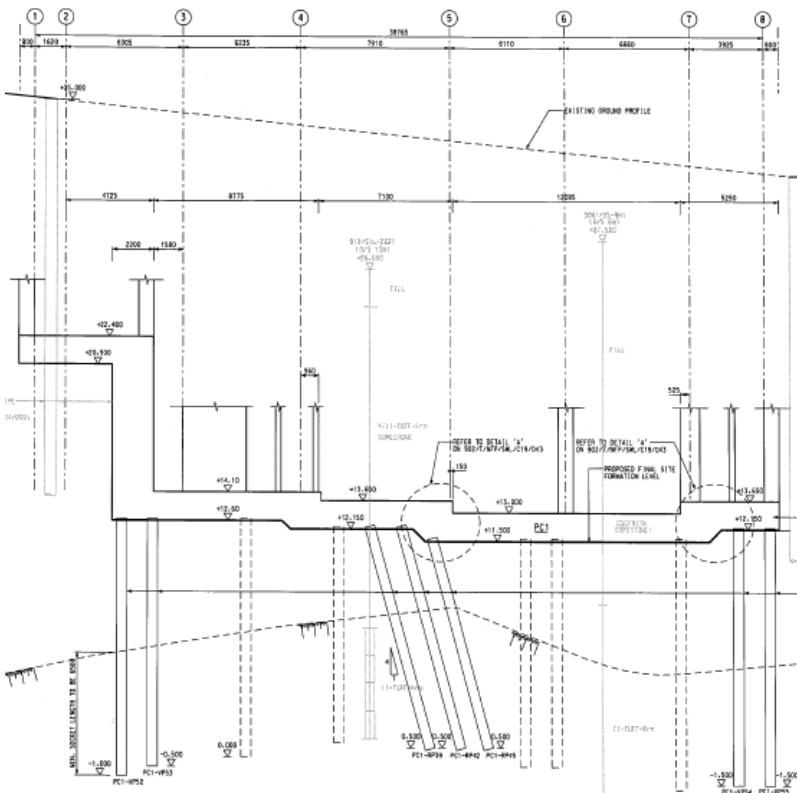


图5：东西方向的横断面

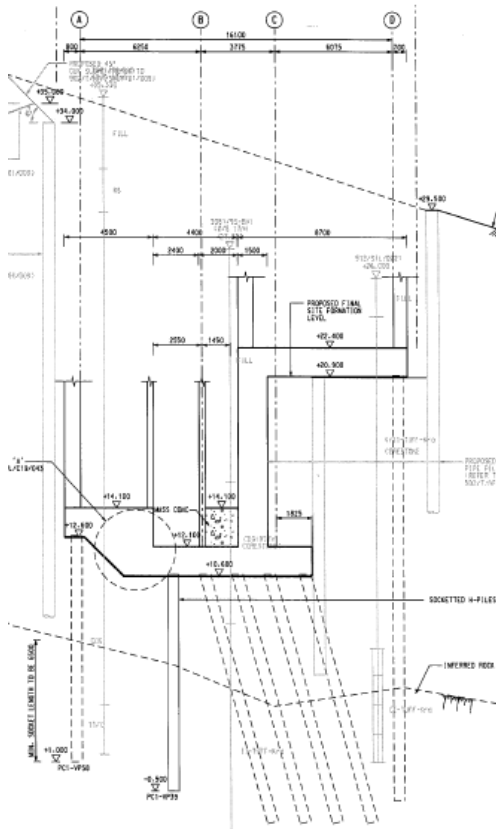


图 6: 南北方向的标准横断面

在采用斜桩的群桩设计中,垂直较横向荷载的理想比为与桩倾斜率一致。对于采用1:4倾斜率的斜桩而言,若群桩的垂直荷载正好为其水平荷载的四倍,其垂直与水平承载能力将能得到完全的利用。当其垂直荷载大于水平荷载的四倍,可能需要增加竖直桩以承担额外荷载。当小于四倍时,由于受斜桩在横向荷载的向上反力影响,部分或全部(取决于桩荷载的分配设计)的竖直桩将处于拉伸状态。在本项目中,由于有土壤与静水压荷载,这座七层大楼的横向荷载将大大高于其垂直荷载的四分之一。此外,项目设计中须考虑到在一些加载工况中包括横向风荷载而不包括垂直活荷载部分。因此,横向荷载对斜桩所带来的反力往往超过斜桩可承受的向上拉力,而需要额外增加竖直桩以承载向上的反力。实际上,项目所使用的64根竖直桩中包括了部分拉力桩以承载向上的张力。

在我们的设计计算中,基于大型承台水平方向设定为刚性且所有斜桩的安置在总体上达到了均匀分布的假定条件下,我们认为两个方向的横向荷载将被均匀地分配到所有同向倾斜的斜桩上。正如上段所述的那样,

每根斜桩将因此产生向上的反力,而且这个反力将是其所承载的横向荷载的四倍。

对于垂直加载情况下的大型群桩分析,由于承台仅1.5米的厚度相较于其尺寸而言太薄,而且桩承台的东南角还有一个高于其余部分多达10米的突出部分,故刚性承台的假定是不成立的。因此,在针对垂直加载的桩荷载分析中采用了弹性承台的假定。在采用“SAP2000 版本12”电脑程序的桩荷载分析中,我们将代表桩身强度垂直部分的斜桩桩撑刚度作为因子输入电脑模型,而竖直桩的桩撑刚度则输入完整刚度。若分析结果表明任一桩的反力超过其承载能力,则需增加桩的数量。另一方面,若结果表明任一桩的反力小于其承载的横向荷载的四倍,就需对电脑模型进行适当地修改,将桩撑刚度值用等于桩横向荷载四倍的向上反力替代,直至不再产生上述两种情形。这适用于所有考虑进行的加载工况。

#### NFP建设中的挖掘与横向支撑(ELS)工程

为进行通风大楼的施工,将需要在11SW-D/F341号斜坡上进行挖掘,而且通风大楼及位于大楼南面的过渡匣结构的建设都将需要进行ELS工程以连接铁路高架桥部分。

图7所示为空调机楼施工中的ELS工程规划,图8为南北方向的横截面图。在ELS工程中,拟采用直径为610毫米的管桩以中心相距1200毫米的方法安放到位,要求嵌岩深度最小应达到2.5米。此外,ELS系统还包括2到6层的横挡与支撑及3排地锚。(地锚是因应在北面管桩墙、隧道龙门对上,因对面管桩墙外面为向下倾斜,而且地面水平较低的较弱填土斜坡而须要。)临时管桩的深度可达16至28米。墙顶将与拟先于ELS工程进行的地盘平整工程中的既有或成形的地面水平(在+25至+34mPD等)保持一致。在通风大楼的地基与结构建设工程中,将开挖四层+11.0至+20.4mPD的挖掘平台。除位于地盘西部的平台由于其水平位分别为+20.4与+12.1mPD,两者相差太大,需使用支撑管桩来支撑其水平差外,其它的挖掘平台将通过斜度不超过45度的临时削土斜坡连接。在ELS工程的这一设计中,支柱的最



低高度要比最终的开挖深度高 5 米，从而方便进行基坑内有足够的净空高度用于进行开挖及隧道开挖出土的清除等工作。对角撑也将广泛采用，以提供更多的工

作空间及保证可以在管桩墙上开个洞口以连通运输道。另外，随着开挖工程的向下进行，在较高的部分使用地锚也有助于提供更广阔的工作空间。

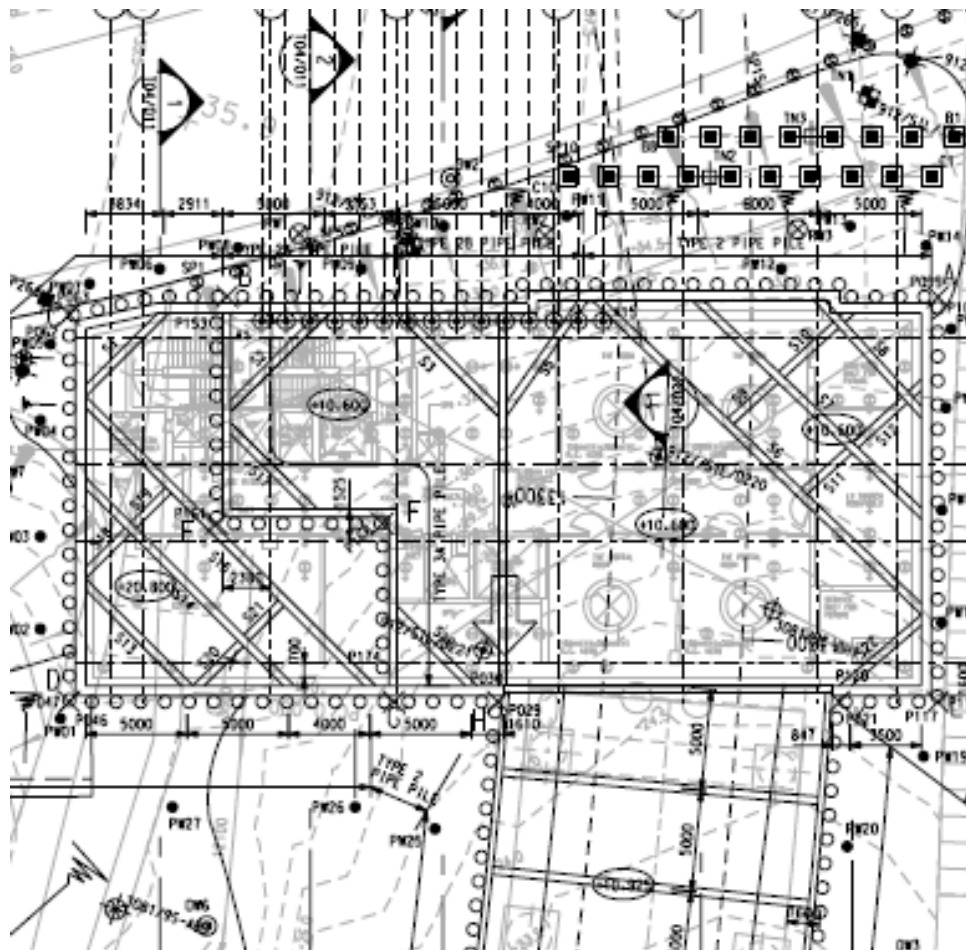


图 7: NFP 施工过程中 ELS 工程 - 平面图

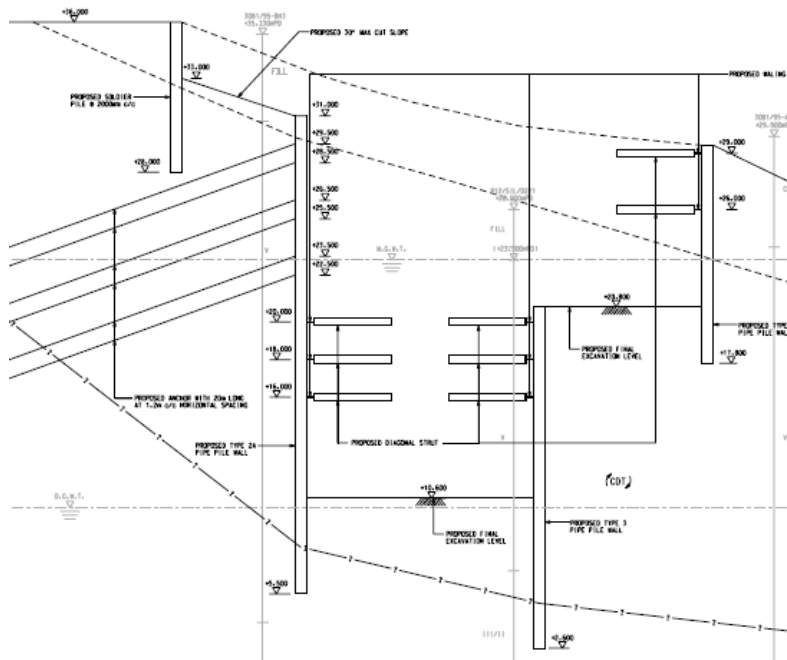


图8: NFP 施工过程中ELS工程 - 截面图

为配合连接铁路高架段的过渡匣的施工建设,通风大楼南面的开挖也将使用直径 610 毫米的管桩支撑,管桩安装在 1200 毫米的中心区,插入岩石的长度最短不得小于 2.5 米。这些管桩由最多 3 层的横挡与支撑承托。临时管桩墙从通风大楼的拟建地址向南延伸大约 40 米。开挖工程的顶层将沿着现有的地面 (+21 到 +25mPD 之间),管桩的安装深度约为 15 米。在管桩墙的南面,会开挖一些明挖边坡,斜度在 30° 到 45° 之间;过渡匣结构完成后,再利用压实的普通填料进行回填,使开挖区域恢复到之前的形态。

施工顺序安排如下:

1. 在南风道安装企桩墙、开挖工程的顶部开始临时或永久边坡,包括土钉的安装和局部回填工程。(企桩墙及土钉安装是地盘平整工程的一部分,请参阅本报告的下一章节。)
2. 把通风大楼和过渡匣的所有管桩安装到规定的深度。
3. 开展通风大楼的开挖工程,按阶段在各开挖深度上安装横挡与支撑/锚固,直至各部分的最终深度。
4. 在开挖工程的底部打造桩基础。
5. 从开挖工程的底部开始建造通风大楼的结构,并随着施工工程的进展,拆除横挡与支撑。

6. 对大楼附近地区进行回填,使其与周边地势高度持平。
7. 利用开采法,在隧道出口区域继续通过管桩墙进行隧道开挖。
8. 进行 NFP 南面过渡匣的开挖工程,并分阶段于各开挖深度安装横挡与支撑,直至各部分的最终深度。如有需要,在明挖区域为地下设施提供临时支护。
9. 以最终的建造过渡匣结构,拆除横挡与支撑。
10. 对开挖区域进行回填,使其恢复到原来的地势高度。

为确定 ELS 工程的设计,我们利用计算机程序“PLAXIS 8.2”对支柱荷载、支柱管桩的挠距和剪力,以及附近地面的预计位移等进行了分析。另外还针对每一个设计部分检查了安全及倾覆系数,以确保每个阶段都能达到最低 2.0 的安全系数。

### 地盘平整工程

毗邻NFP项目的临时工程区域的地盘平整设计可以使工地货车从南风道直接驶入NFP和南风隧道入口的工地。地盘平整工程还可以提供临时的工作平台,以协调施工工程。要达到这个目的,就需要在工程区域的西北角建设一条与南风道相连接的临时通行道路。临时通行道路将从入口开始,沿南面的工程区域边界,然后向北

直接进入NFP工地。这条通行道路的最大设计坡度为1（垂直）：8（水平）。

临时通行道路的建设工程包括半填半挖式斜坡的平整、临时混凝土石砌挡土墙和一段短的临时悬臂管桩墙。同时还会在混凝土石砌挡土墙后填土，以在邻近南风道的道路入口处形成一个平台。在工程区域的东南角，地盘平整工程将延伸至NFP项目的南边区域，并将在该位置利用开挖及回填方法建设一个隧道管（过渡

匣）。

所有的隧道施工工程结束后，会把临时的混凝土石砌墙拆除，而且会把地盘恢复至施工前模样。施工区域也将会移交回给政府，以便将来发展的规划和实施。

地盘平整工程的布局规划和拟建通行道路的截面图见图9和图10

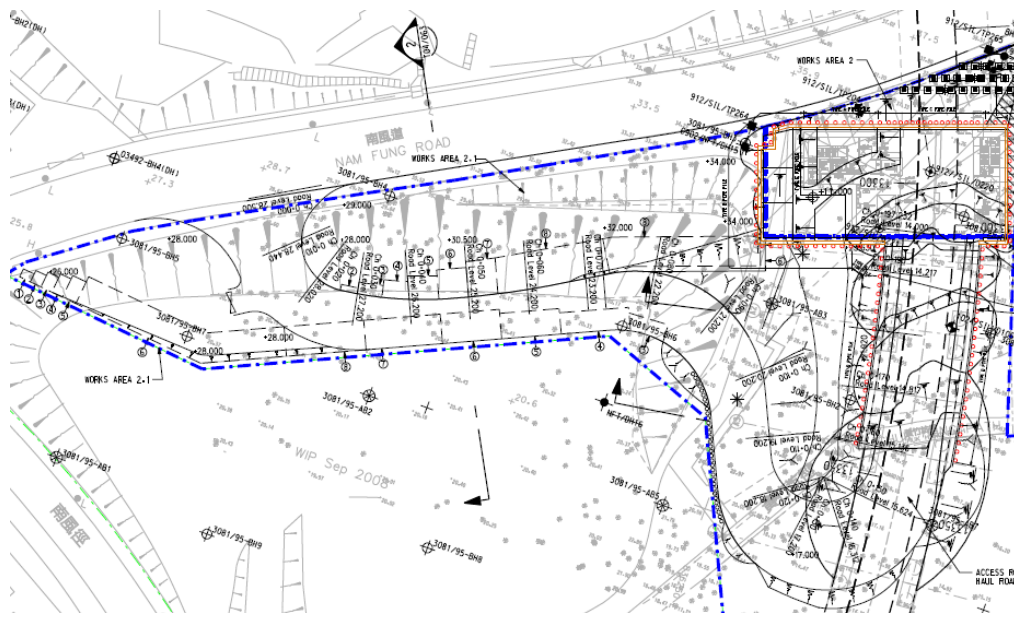


图9： 地盘平整布局规划

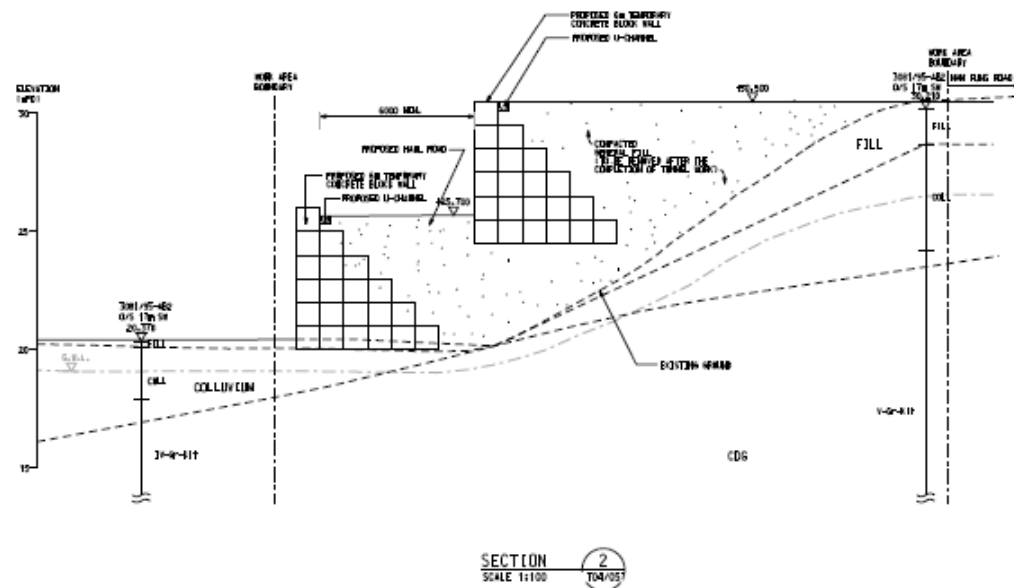


图10： 拟建通行道路的第二截面图

对NFP北边的11SW-D/F341号填土斜坡，将会先进行

改善工程，以促进通风大楼的施工。在地盘东边的学校



项目地盘平整时就已经预先对其进行稳定性评估,结果显示其稳定性并未达标。斜坡东边那部分的改善工程已经开展,因此我们须要对在项目工程范围内的其它部分斜坡改善工程进行设计。

在沿着11SW-D/F341号斜坡的一段南风道破旁边将会建筑一面企桩墙。这面企桩墙由安装于2米中心处、规格为305x305x223 kg/m的预钻孔钢制H型钢桩组成,2米中心处还建有钢筋混凝土隔板墙。随着混凝土墙前面挖掘工作的进行,墙面将会浇筑成1米高的独立垂直面板。每挖掘1米,H型桩表面的水泥浆就会被剥去,与此同时,钢筋条也会被固定到与桩身钢板焊接在一起的短螺栓柱上。然后就可以在钢桩面上浇筑成混凝土隔板。然后可进行下一米的挖掘,一直往下进行到斜坡成形且坡度不大于45°为止。接下来,在ELS工程及通风大楼的施工工作开始之前,斜坡表面上会安装土钉以增强其稳定性。安装完土钉之后,斜坡的最小安全系数(FOS)将升高至1.4,从而达到邻近大型交通设施的斜坡安全系数的现行标准。

## 结论

南风入口通风大楼将在困难的地盘状况下建设,地盘本身有很大的水平差异。项目难点包括建筑结构上巨大的横向土压、南风道旁斜坡面上的深挖工程以及不同水平工地与道路的连接等。在地基系统设计、ELS工程和地盘平整工程中对此进行过适当的考虑,以确保工程的安全性和施工的可行性。

## 参考文献

1. Scott Wilson Limited, MTR South Island Line (East) Consultancy Agreement C902, Works Contract 902, Nam Fung Ventilation Building Foundation Design Report (June 2010).  
伟信顾问集团有限公司, 港铁南港岛线(东段) C902号顾问合约, 902号工程合同, 南风通风大楼地基设计报告(2010年6月)
2. Scott Wilson Limited, MTR South Island Line (East) Consultancy Agreement C902, Works Contract 902, Nam Fung Ventilation Building ELS Design Report (June 2010).  
伟信顾问集团有限公司, 港铁南港岛线(东段) C902号顾问合约, 902号工程合同, 南风通风大楼挖掘与横向支持(ELS)设计报告(2010年6月)
3. Scott Wilson Limited, MTR South Island Line (East) Consultancy Agreement C902, Works Contract 902, Nam Fung Ventilation Building Site Formation Design Report (June 2010).  
伟信顾问集团有限公司, 港铁南港岛线(东段) C902号顾问合约, 902号工程合同, 南风通风大楼地盘平整设计报告(2010年6月)

## 鸣谢

由衷感谢港铁公司允许作者撰写并发表此论文,同时还要感谢URS/伟信有限公司和工作于C902号合同项目的诸位同事对论文编制的大力支持并提供资料。