

全方位海瑞克电子杂志 第3期

极限隧道掘进

极端的压力
需要至高的安全性

HERRENKNECHT



Tunnelling Systems



最先进的掘进技术

完成划时代的任务

技术上的不断进步引领着隧道建设行业向前发展。与业主、规划方、承建单位携手，海瑞克公司不断发展其机械化隧道掘进技术，以建造安全、优质和坚固耐用的隧道为目标，不断攻克全新的、极其复杂的地层。在本期全方位电子杂志，您将深入了解目前正在进行的海瑞克开创性项目，以及在这些项目中应用的对隧道建设行业产生深远影响的最新技术。

◀ **机械化隧道掘进中的里程碑：**2003年，一条贯穿瑞典哈兰扎森山脉的隧道圆满竣工——该项目成功应用了海瑞克隧道掘进技术。



最新消息

挑战极限 08

水压新记录 12

进仓的挑战 14

饱和潜水作为最后选择 18

随时应对任何情况 21

▲ **极限隧道掘进:** 对于诸如伊斯坦布尔博斯普鲁斯海峡海底公路隧道建设这类开创性项目而言, 施工人员和掘进设备的安全为首要考虑因素。



增强现实(Argumented Reality, 简称AR): 在本期的杂志中, 您将经常看到左边这个标志, 当您用您的智能手机或者平板电脑的摄像头捕捉这些页面的时候, 设备会通过一个应用程序从网络检索到附加的内容, 然后将其显示出来。您只需要做的是, 下载“魔眼 (Junaio) -增强现实浏览器”应用程序 (对iOS以及安卓系统免费提供), 然后通过扫描左边的二维码以激活使用魔眼 (Junaio) 应用程序。

极端的压力需要至高的安全性

极限 隧道掘进

► 作者: Georg Küffner

一条在深处穿越海峡的大型海底公路隧道、一条穿越复杂山脉地形的铁路隧道，一条在湖底极端高压下建设的引水隧道：机械化隧道掘进正攀登上以前看似不可及的高度。与承建单位、项目业主的诚挚合作有益于使我们的机械技术不断创新突破。隧道建设领域的进步其中也归功于对深海潜水的成功借鉴。

”这不可能!“——在其反面得以证实之前,这句话总是无可反驳。而恰恰对于工程行业而言:界限是激励和促进,绝非限制。更大、更快、更深、更远——同时要更加安全。这就是机械化隧道掘进的格言。

挑战极限

名副其实的工程技术挑战首先在于深度。在极端压力的地质条件下,地层、通过裂隙渗透过来的海水或者河水以及其他一些异常情况都会影响隧道掘进进程。在地质条件极为苛刻的隧道掘进项目中如何取得成功,可从米德湖底引水隧道案例中看出端倪。

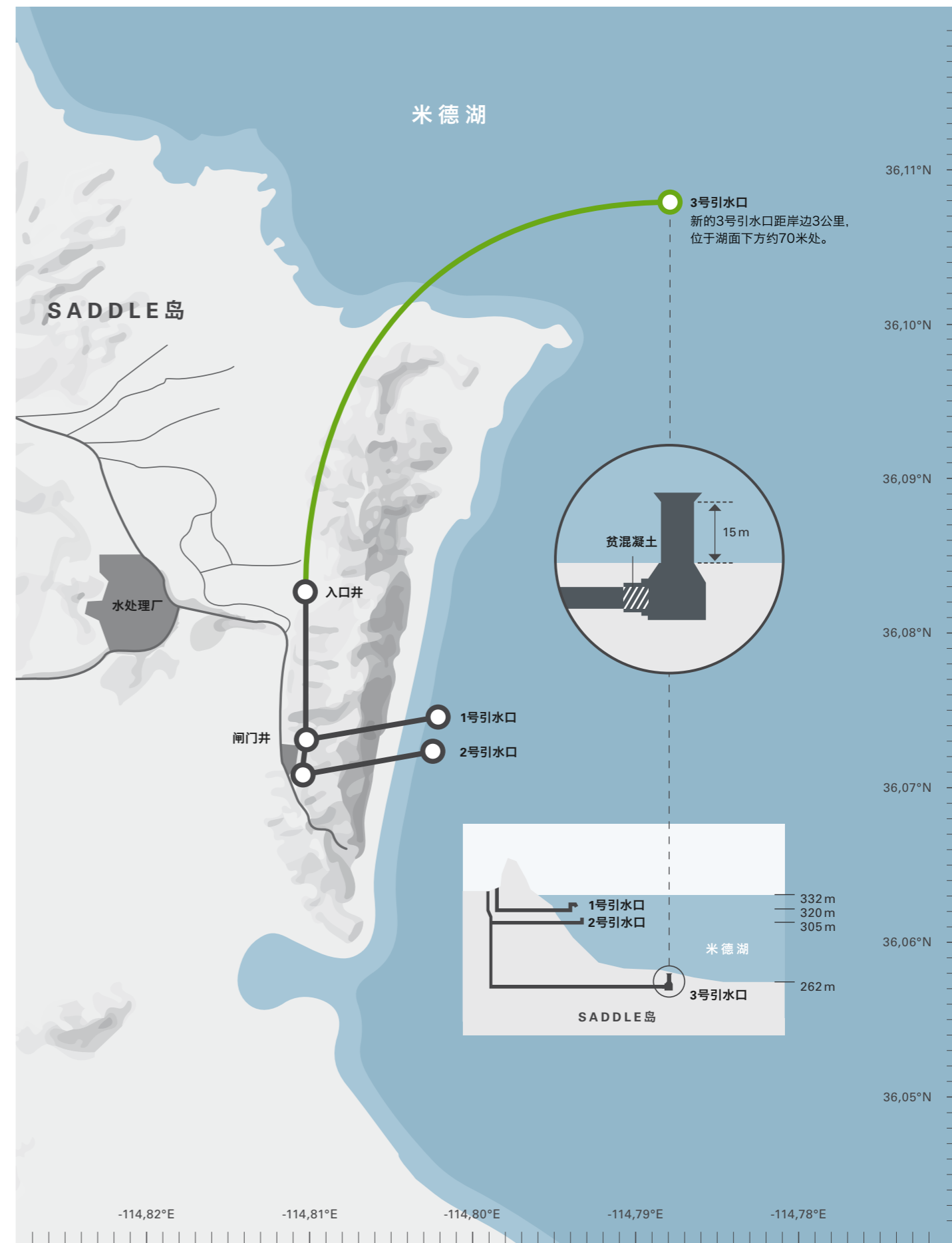
这一美利坚合众国最大的水库就像一枚闪亮的蓝色钻石,坐落于拉斯维加斯东南约50公里,内华达州与亚利桑那州交界之处的沙漠中心。1935年完工的胡佛水坝在这里拦蓄科罗拉多河:长达170千米,最深处达150米。最大库容达350亿立方米,达到了难以想象的程度--这些水可供德国所有家庭大约使用10年。

然而,米德湖的水量早已不复当年。1998年以来,受气候变化以及史上最严重干旱的影响,它的水位不断下降。期间,米德湖的水位达到历史最低:仅为海拔332米。这意味着,米德湖的水位比两个现有取水点仅高出几米——从而威胁到水的供给。

建造第三个引水口保障供水

必须新建第三个引水口。计划中的"3号引水口 (Intake No.3)"位于湖面下方约70米,距岸边约3公里。从湖底垂直向上突出15米的引水结构从一个浮动驳船降入预先挖掘的基坑中。接下来,在水下以导管灌注混凝土浇注地基,以固定整个结构。

真正的"3号引水口"由一条长4.4公里、轻微向上倾斜的隧道构成,采用外径7.2米的海瑞克隧道掘进机S-502在湖底直接掘进。最终,机器以厘米级的精确度,从下方进入引水点混凝土基座内的入口结构中,该结构专门采用软质贫混凝土制成。此前大约三年的时间里,这台经过特别改装的多模式隧道掘进机不断征服复杂地质条件,包括裂隙岩体以及含有湖水的粘土。





▲
米德湖: 位于拉斯维加斯附近的米德湖水库由科罗拉多河供水, 是这一赌城最重要的水源。岸边的矿物沉积记录着历史最低水位。





◀ 研磨性地质及高压使得钢材和密封件面临着绝对的负荷界限。

寻求合适的解决方案

早在项目开始很久之前，各个参与方就已提出正确的问题：隧道掘进机该如何设计，才能持续承受如此高、直至当时都无法驾驭的压力？一种方法是增加钢结构以及采用更厚的盾体。可是无论如何，在15巴的水压下，每平方米盾体需承受15千克的负荷——当总长为16米、直径逾7米之时，就汇成了巨大的压力。另一种方法则是在主轴承和盾尾等处安装坚固的密封件。此外，在极端压力条件之下，还需保障仍能执行换刀等常规作业和计划外的维护作业。

根据所收集到的信息，承建商Salini-Impregilo联营公司决定使用一台海瑞克多模式隧道掘进机。在良好、稳定的地层中，盾构机采用所谓的敞开模式工作。在该模式中，采用机械方式从工作区运走由刀盘滚刀破碎成手掌大小的小块岩石。这方法既快捷又有效。机器效率很高：每分钟可掘进4至5厘米。有时周进尺甚至达到100多米。

水压新记录

由于掘进位置的深度，机器在大部分掘进段需承受最高达15巴的巨大水压（水下深度每增加10米压力上升1巴）：这在机械隧道掘进领域前所未有。此前的该纪录为11巴，同样是由海瑞克隧道掘进机创立，其用于掘进2013年竣工的瑞典哥德堡和马尔默之间的哈兰扎森铁路隧道。

苛刻的地质和水文条件为承建商Salini-Impregilo联营公司带来真正挑战。掘进过程不得不因为部件更换而多次中止。米德湖底的研磨性岩石使滚刀和刀盘部件受到磨损。同样，轴承密封也严重受高压影响，需要翻新。

经过大约三年的掘进之后，这台海瑞克多模式隧道掘进机于2014年底准确无误地穿过新引水点的入口结构。

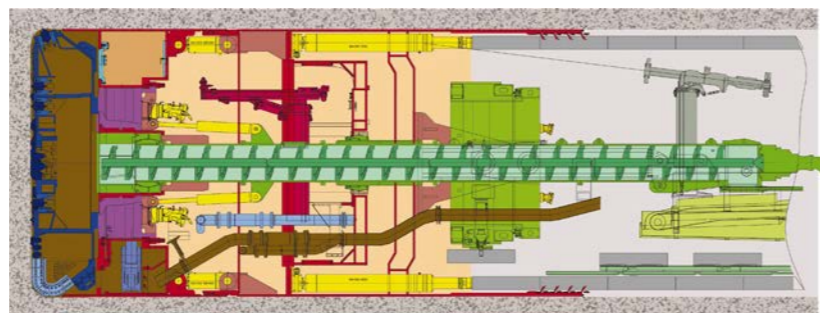


计划赶不上变化

然而大约只有40%的隧道段能够使用敞开模式快速掘进——而非计划中的70%：由于地质断层区和掌子面上的涌水，不得不采用封闭的泥水平衡模式完成大部分路段的掘进，在该项目中封闭式作业的耗时和磨损度都相对较高。在泥水平衡模式中，带压的液体介质——通常为膨润土悬浮液——用于支撑掌子面。膨润土悬浮液混合开挖出来的物料从工作仓泵到泥水环路中。在这种方式下，可即使很小的压力波动也可以得到准确控制。

从敞开式到封闭式的切换必须快速进行，因为一旦有水进入，将会在高压作用下大量涌入。负责米德湖工程的隧道掘进机，必须能够在120秒内瞬间完成密封。这通过在螺旋输送机后端关闭卸料闸封闭开挖仓实现。

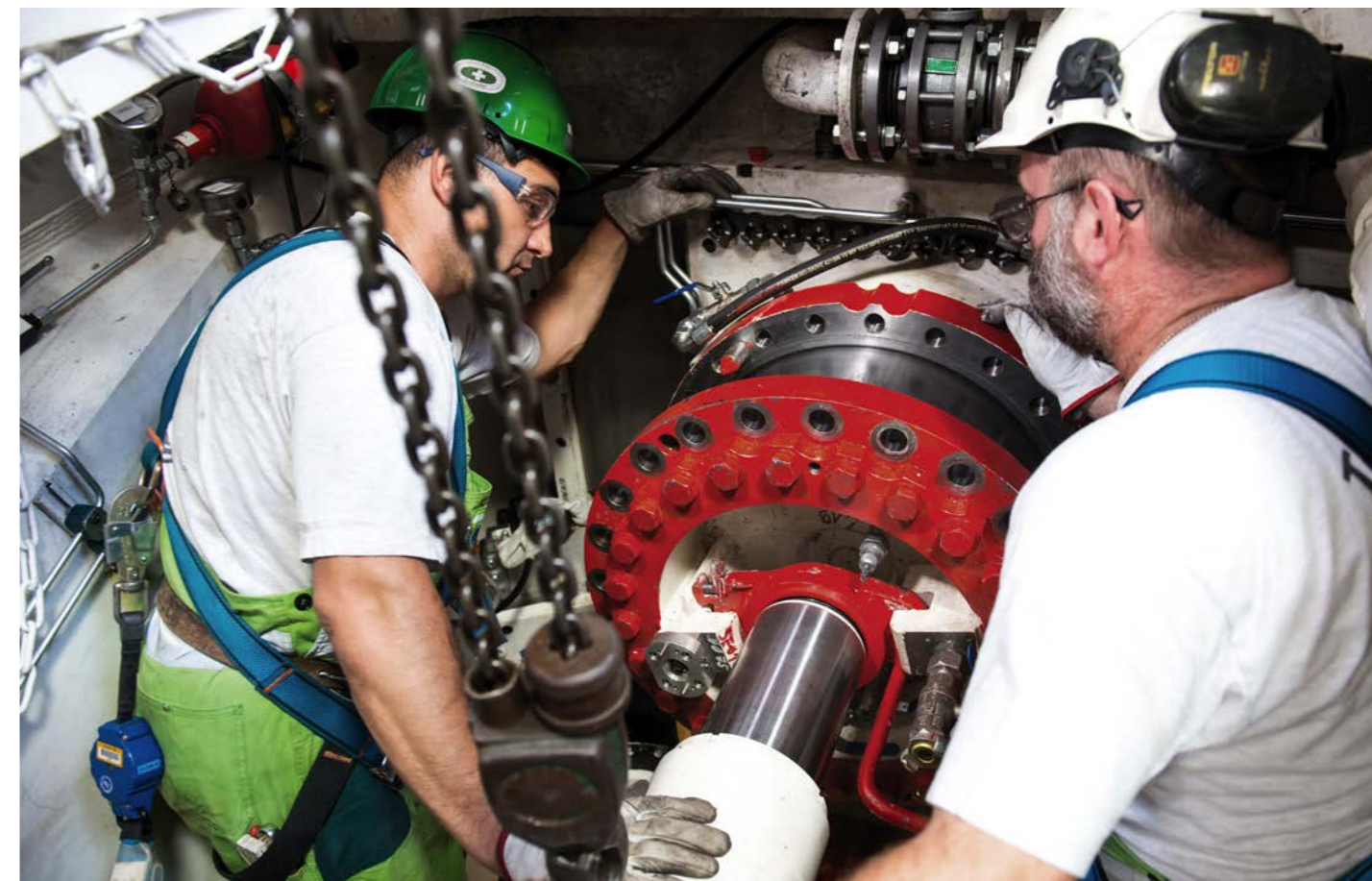
▼ 由于隧道沿线土壤条件复杂多变，承建商选择了一台海瑞克多模式机器。



▲ 两种掘进模式简介：开放式（采用水平螺旋输送机）和封闭式（采用泥水环路）。

进仓的挑战

封闭、安全、便捷？恰恰相反！因为即便隧道掘进机在安全的泥水平衡模式下掘进，刀盘和刀具也需要定期进行检查和维护。不同监控系统通过传感器实时检测并记录所有重要的掘进参数。这些数据将作为隧道掘进机操作手判断何时需要进仓的决定性依据。数据分析只是第一步。紧接着，滚刀、齿刀和铲刀的实际更换作业是费力又耗时的人工作业。



▲ 在德国进行设备组装期间，新开发出的滚刀更换系统已针对项目应用经过全面测试。



大直径作业条件下常压换刀

在高压下掘进时，可进入式的刀盘幅臂被证实是有效可靠的。1998年使用混合式盾构机建设德国汉堡第四易北河隧道时，这一设计在4.5巴的作业条件下首次得到成功应用。当隧道掘进机直径为10米或以上时，刀盘幅臂可采取可进入式的空箱结构。工作人员可在大气压下进入幅臂，从刀盘后方区域相对容易地更换已磨损或有损化的刀具。过去二十年间，海瑞克不断发展该方案，使其适用于明显更高的压力。

全方位海瑞克电子杂志第3期

技术先锋

技术上不断突破创新

全为建设高效的基础设施

herrenknecht.com/cn/issue-3

allaround.herrenknecht.com/cn/issue-3/

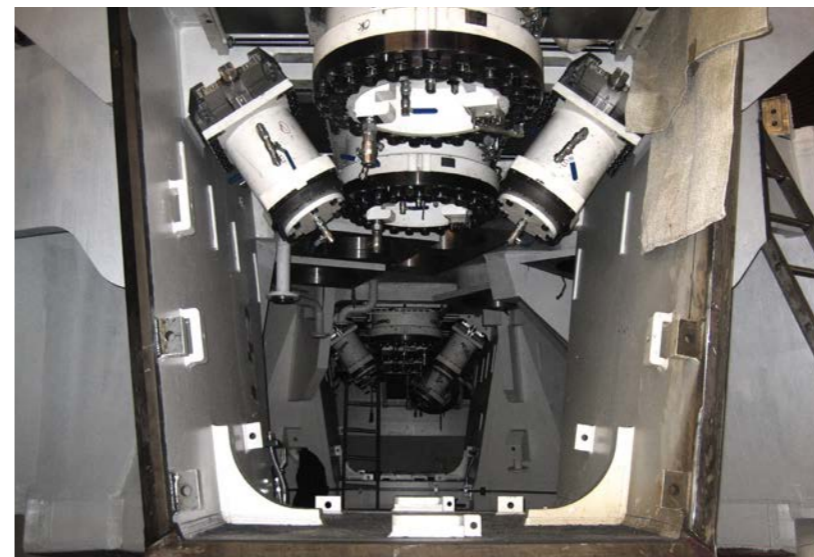
极限隧道掘进

- ▶ 最先进的掘进技术完成划时代的任务：更大、更深、更高极限——机械化隧道掘进正攀登以前看似不可企及的高度以及进入全新的地下领域。

allaround.herrenknecht.com/cn/issue-3/

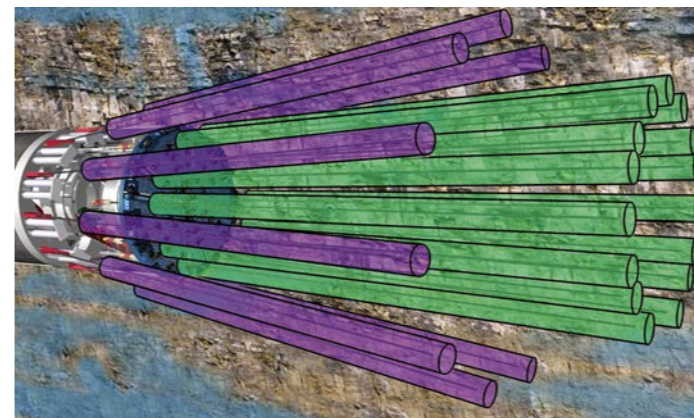
开创性技术

- ▶ 开创性技术——为专业应用领域定制创新方案：作为机械化隧道掘进领域的技术先锋，海瑞克公司为专业应用领域特制高效的解决方案。



- ◀ 直径约10米以上时，刀盘幅臂可设计成可进入式，以进行常压换刀。

- ▼ 在一个如同“安全区”的保护下，作业人员在极端狭窄的空间内对米德湖隧道掘进机的刀盘进行保养。

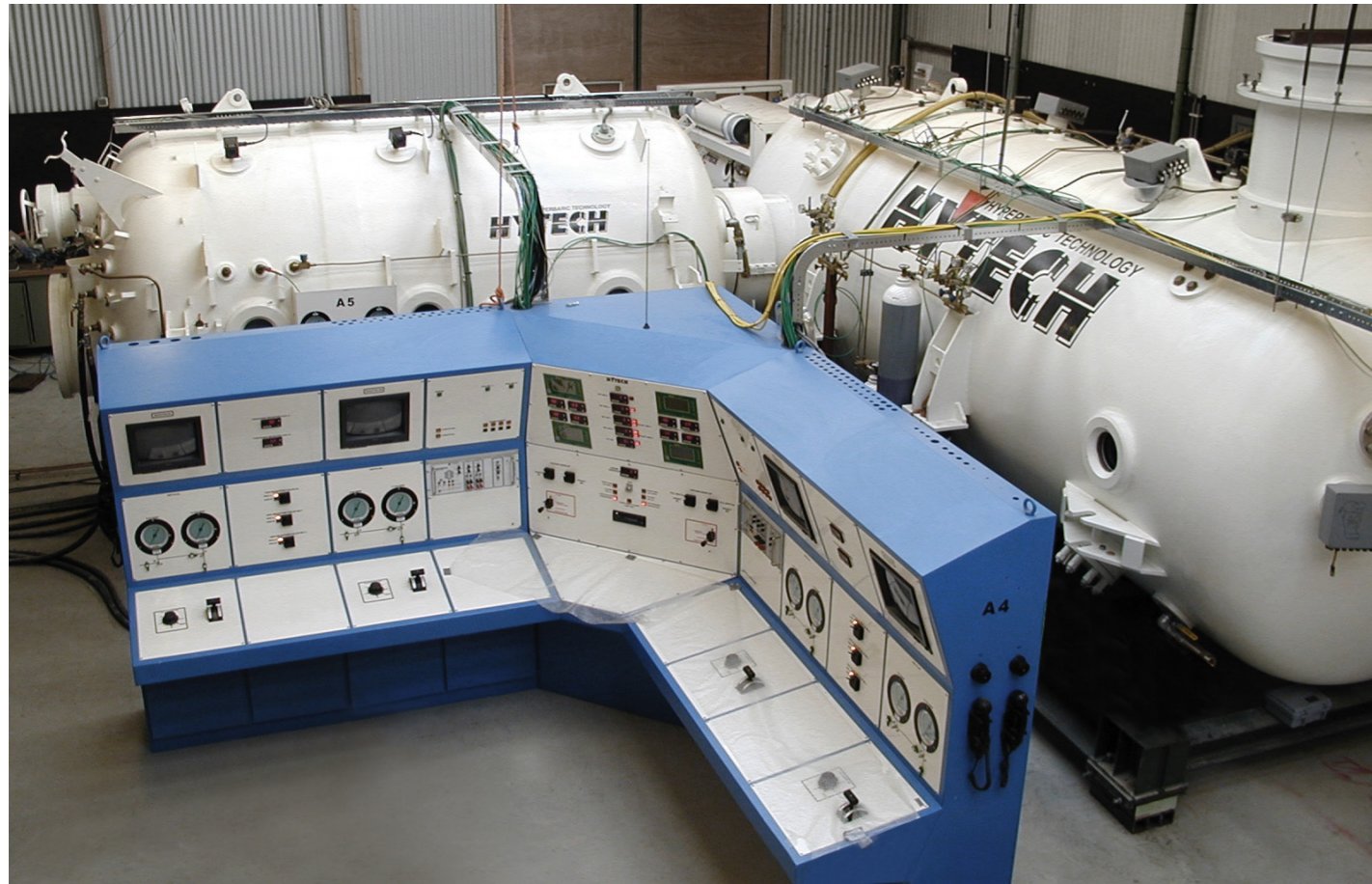


- ▲ 借助钻机，可在掘进段上预先进行围岩超前注浆加固。但这一过程却并非始终可用。

于掘进而言专业直觉不可或缺

因空间限制，直径小于10米的隧道掘进机无法设计成可进入式的刀盘幅臂——如在米德湖项目中。不可能实现常压换刀。此种情况下，仅能在“安全区”执行换刀或保养作业，可从“安全区”安全地进入开挖仓。然而，在隧道沿线遇到这样一个天然的稳定区域实属幸运的意外。通常可遇而不可求。

因而，这就是需要所有项目合作伙伴的专业经验和直觉的时候了：是冒险继续前进一段，抱有不久后便能到达安全区域的一线希望？还是刀具已磨损到不得不马上加以处理？安全区也可人工建成，譬如借助隧道掘进机的钻机预先进行围岩超前注浆加固改善土层，或者从地面开挖实现。然而，该过程耗时耗资巨大，且不一定始终可行。



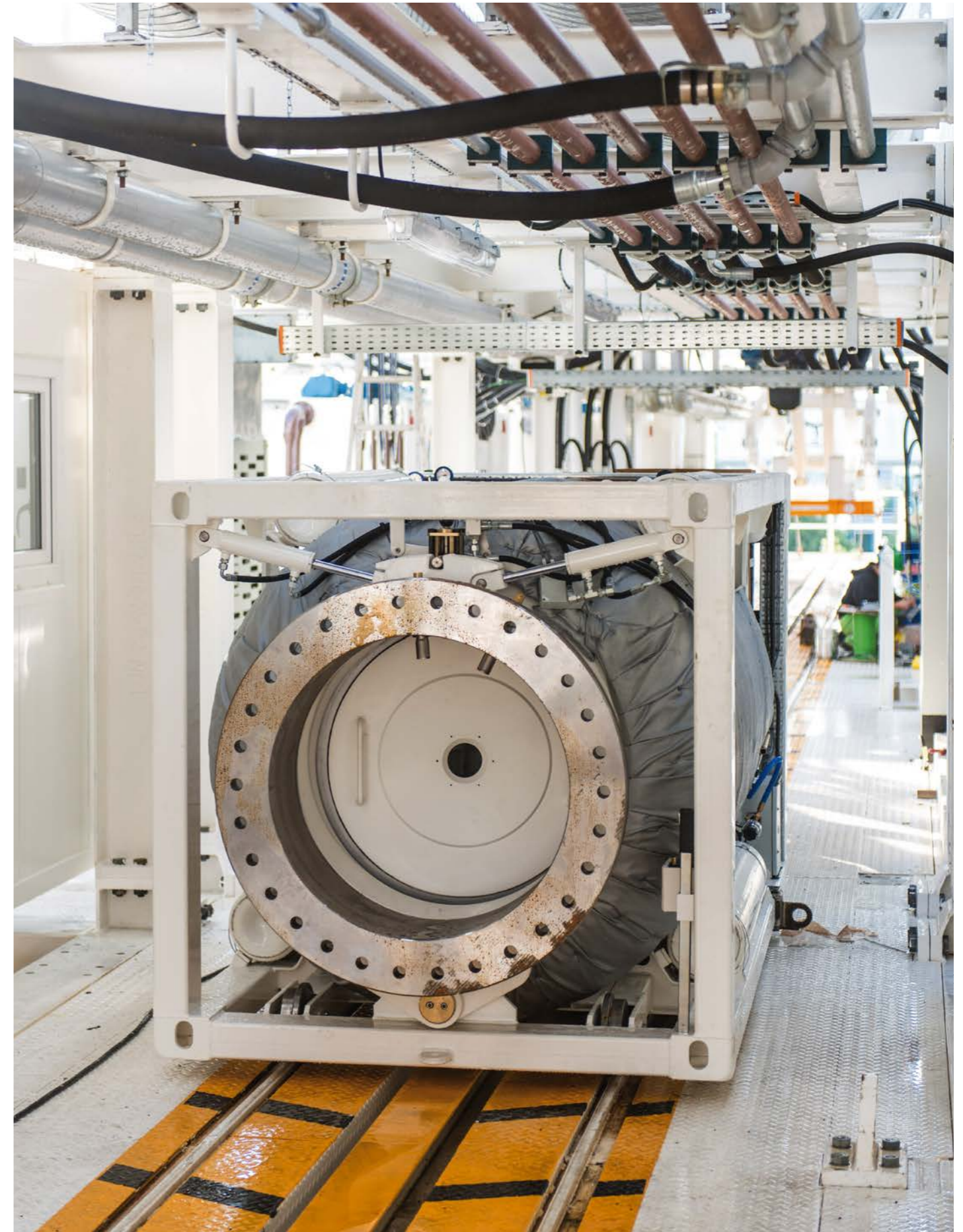
▲ 饱和潜水是一项极为繁琐的流程: 从居住舱(上图) 到通过穿梭舱到达隧道掘进机(右图), 到处都需要采用因项目而定的特殊结构, 以最好地保障潜水员的安全。



饱和潜水作为最后选择

在最坏的情况下, 只能采用备选方案: 潜水员进入隧道掘进机压力区作业。同样, 在建设德国汉堡第四易北河隧道时, 这种方法也首次得到采用。当时必须重新焊接铲刀支座, 并更换铲刀。任务持续六周一在最高达4.5巴的压力条件下, 也就是潜水员尚能借助“正常”压缩空气进入的最高压力区域。

当深为如米德湖, 最高压力达到15巴时, 这种方法就不再适用。此时, 人们需要借鉴深海潜水的经验。而饱和潜水便是释放魔法的“咒语”。该方法的原理是, 高压下人体器官的气体吸收会在某一时刻达到临界(饱和)状态——从而减压时间也有自然、明确的界限。





▲ 穿梭舱的内部结构：根据任务不同，饱和潜水员在带压区域停留可长达数周。

随时应对任何情况

在米德湖项目中，施工现场和设备都为最高达15巴的饱和潜水作业做好了充足的准备。为此工程师们设计并实现了一条无缝衔接的带压运输路径。这条路径从潜水员有时生活数周的始发井区域内的（加压）居住舱通向隧道掘进机前盾区域的压力闸。

使用时，穿梭舱需穿过机器的整个后配套区域进行运输。为此必须进行专业的设计考量，以便在中心区域为穿梭工具留足的空间。只有这样，专业饱和潜水员才能快速、尤其是绝对安全地进入开挖仓。而正常操作时，这些装置只允许对掘进产生极其细微的影响。

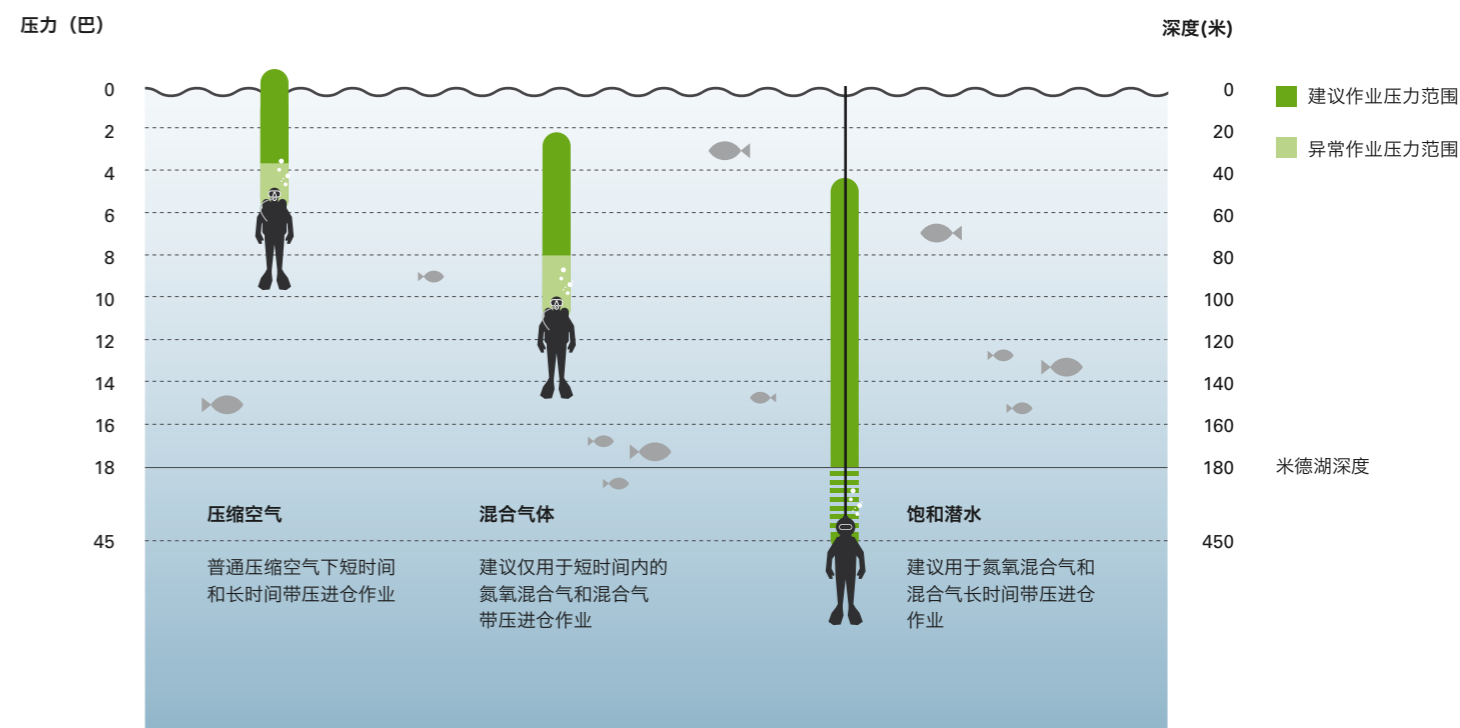
幸运的是，在米德湖掘进时最终并不需要派出潜水员执行复杂且耗时巨大的任务。尽管如此，对于这类在技术可行性达到极限领域而且要求极为严苛的开创性项目，除了A计划总得有个B计划甚至C计划作为备用。

因此，未来所有在地下深处作业的隧道掘进机都可以配备这样的技术，这令人联想到航天飞行。在地下200米钻进不再是妄想。

在这个东西方交界之处，饱和潜水员同样作为后备方案：当前，一台直径为13.6米的海瑞克隧道掘进机在波斯普鲁斯海峡下方直接穿越欧亚两洲之间的海底——所有可能需要的进入开挖仓的装置都已安装就绪。伊斯坦布尔海峡海底公路隧道项目 (Istanbul Strait Road Tube Crossing Project) 中，长5.4公里的公路隧道最深处达到海平面以下约100米。

饱和潜水

潜水越深、越久，回到水面所需的时间就越长。问题就在于他所呼吸的气体。气体溶解在体液中，并存储在组织内，直到身体饱和。因而得名：饱和潜水员。如果快速潜出，则气体，尤其是在血液中的气体将排出过快。如同打开摇晃后的汽水瓶一样。可能会导致气体栓塞、神经或组织损伤，具有致命性后果。因此，潜水员需要随着缓慢降低的压力通过呼吸释放所吸收的气体--这是一个持续过程。如此一来，对于一次200米深的潜水作业，其减压时间可达7天。



项目背景

米德湖 3号引水隧道

国家	美国
项目地点	拉斯维加斯
业主	Southern Nevada Water Authority
承建商	Vegas Tunnel Constructors JV
年份	2011—2014
项目应用	输水
地质状况	非匀质土层, 硬岩 (玄武岩、砂岩、角闪石、砾岩)
隧道长度	4400 m
机器数据	1x 多模式隧道掘进机
直径	7180 mm
隧道衬砌方式	管片衬砌

出版:

海瑞克股份公司
Herrenknecht AG
77963 Schwanau, 德国

编辑部:
海瑞克股份公司
市场传讯部
(总负责: 柯亚谦 Achim Kühn)
© 2015 Herrenknecht AG

全方位海瑞克电子杂志第3期

全新上线

欢迎浏览

allaround.herrenknecht.com/cn



海瑞克多模式隧道掘进机在米德湖项目取得成功: 设备在最高15巴水压环境中顺利掘进。



HERRENKNECHT AG
77963 Schwanau
Germany
Phone +49 7824 302-0
Fax +49 7824 3403
pr@herrenknecht.com
www.herrenknecht.com

海瑞克股份公司
德国 Schwanau 77963
电话 +49 7824 302-0
传真 +49 7824 3403
pr@herrenknecht.com
www.herrenknecht.cn

海瑞克股份公司北京代表处
中国 100022
电话 +86 10 6567 0389
传真 +86 10 6567 6769